



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC STS 20027

Examensarbete 30 hp
Juni 2020

Ballast eller ballastfritt, det är frågan

Modellförslag för icke–monetär nyttovärdering
av två olika järnvägskonstruktioner

Madeleine Persson



UPPSALA
UNIVERSITET

Teknisk- naturvetenskaplig fakultet
UTH-enheten

Besöksadress:
Ångströmlaboratoriet
Lägerhyddsvägen 1
Hus 4, Plan 0

Postadress:
Box 536
751 21 Uppsala

Telefon:
018 – 471 30 03

Telefax:
018 – 471 30 00

Hemsida:
<http://www.teknat.uu.se/student>

Abstract

Model proposal for non-monetary valuation benefit for two different railways

Madeleine Persson

To cut transport carbon dioxide emissions by 70% by the year of 2030, the Swedish government is investing in new railway infrastructure, hoping to stem the emissions caused by the transport sector. It is planned to stretch between Stockholm–Malmö and Stockholm–Gothenburg. The first section Ostlänken, is located between Järna in Södertälje municipality (Stockholm) and Linköping. It will be a 160 kilometers long railway with double track in ballast. All railways in Sweden are built with ballast, but internationally, ballast-free methods, so called slab tracks, are increasing in popularity. This master thesis aims to compare ballast tracks with a general model of slab tracks, in regard to carbon dioxide emissions. The study also aims to evaluate how several criteria can be compared to each other as non-monetary, in an evaluation model. Three criterions will be considered: availability, economic costs and carbon dioxide emissions.

A case study of Ostlänken was used as a methodological framework. Further, a literature review has been implemented as well as several interviews. Calculations of carbon dioxide emissions from the two tracks respectively were performed through a life cycle analysis (LCA). Through a multicriteria analyse, the three criteria were evaluated in respect of each other. All calculations were performed in Excel.

The result that could be drawn from the study, was that from a carbon dioxide point of view, ballast tracks have a much greater need for maintenance to preserve the track geometry. Slab track on the other hand, generate higher emissions in the start of the life cycle, due to its large amount of concrete and steel. Multicriteria analysis were shown to be a helpful tool when making decisions in complex systems. The multicriteria analysis could benefit from including other case specific factors as well. This might however also lead to a far too complex model, from which fewer conclusions can be drawn.

Handledare: Pär Sandin
Ämnesgranskare: Mattias Lantz
Examinator: Elisabet Andréddóttir
ISSN: 1650-8319, UPTec STS 20027

Sammanfattning

Fordonssektorn i Sverige står inför stora utmaningar för att uppnå regeringens klimatmål. Koldioxidutsläppen från sektorn ska minskas med 70 procent till år 2030 och vara koldioxidneutrala till år 2045. Eftersom tåg är ett av de mest miljövänliga transportalternativen, genomför regeringen nu stora satsningar på järnvägsinfrastrukturen. En av dessa satsningar är Ostlänken som kommer att vara den första etappen på en ny stambana. Ostlänken är planerad att gå mellan Stockholm (Järna i Södertälje kommun) och Linköping. Det är en 16 mil lång sträcka som kommer att byggas som dubbelspår med ballasterad banöverbyggnad. Ballast är stenkrossprodukter som kan utvinnas bland annat från bergtäkter eller vid sprängning av tunnel. I Sverige används idag endast ballasterat spår men runtom i världen börjar den ballastfria metoden, även kallat fixerat spår, bli allt mer populär.

Den genomförda fallstudien utgick från Ostlänken som ska byggas som ett dubbelspår av ballast. Eftersom denna etapp är den del av den nya stambanan som har kommit längst i projekteringen, var det en bra utgångspunkt för att jämföra de två spåralternativen i arbetet. Utifrån detta kunde sedan alternativen appliceras på den nya stambanan som fortfarande är under utredning. Först genomfördes livscykelanalyser för att beräkna utsläpp av koldioxidekvivalenter för ballasterat och fixerat spår. Analysen utgick från standarderna ISO-14040 och ISO-14044, vilka är utformade av den oberoende, internationella organisationen International Organization for Standardization. I analysen ingick utvinning och produktion av byggmaterial, byggnation av nytt spår och underhåll av spåren. Undersökningen gjordes över en tidsperiod på 60 år och 120 år. Därefter undersöktes hur de tre faktorerna koldioxidutsläpp, kostnad och tillgänglighet kan sammanvägas i en icke-monetär utvärderingsmodell för ett stort infrastrukturprojekt. För att göra de tre faktorerna till icke-monetära, beräknades andelen ut mellan de två fallen vilka kunde jämföras i olika diagram.

Resultaten från fallstudien visade att den främsta utsläppsfaktorn för ballasterat spår var underhåll, då momenten främst utförs av tunga dieseldrivna arbetsmaskiner. Fixerat spår hade i en produktionsstudie höga värden av koldioxidutsläpp på grund av att spåret är uppbyggt av stora mängder betong och stål. Det är två material som genererar mycket koldioxidutsläpp vid utvinningen och produktionen. Över tid kan utsläppsmängden för ballasterat spår bli högre än fixerat. Det beror dels på hur mycket underhåll som kommer att krävas för att hålla ballastspåret säkert och dels beroende på hur mycket betong och stål som kommer att förbrukas under det fixerade spårets livstid.

I den icke-monetära modellen kunde koldioxidutsläpp, kostnad och tillgänglighet sammanställas i en gemensam graf genom en multikriterieanalys. Fördelen med multikriterieanalysen var att det gav det en mer heltäckande bild över olika fall för de två olika banöverbyggnaderna. Det kan vara ett särskilt viktigt verktyg i upphandlingar för infrastrukturprojekt, eftersom det är många olika parametrar som ska vägas in.

Förord

Detta examensarbete är den avslutande delen på civilingenjörsprogrammet System i Teknik och Samhälle vid Uppsala universitet. Det motsvarar 30 högskolepoäng och har genomförts i samarbete med konsultföretaget Systecon.

Det är under märkliga tider jag har skrivit det här arbetet. Coronapandemin har brett ut sig över världen och vi uppmanas till social distansering. Därför vill jag ägna ett extra stort tack till min handledare Pär Sandin och Filip Malmberg på Systecon. De har spenderat flera timmar på Teams och trots omständigheterna gjort att arbetet har kunnat genomföras smidigt. Vidare vill jag tacka alla medarbetare på Systecon och ett särskilt stort tack till Matias Rauma, som kommit med bra idéer till arbetets utformning och Elias Kirilmaz, som var en stor hjälp i arbetets slutskede. Jag vill också tacka min ämnesgranskare Mattias Lantz som har givit mig bra vägledning under arbetets gång och som har guidat mig i den akademiska utformningen och rättat felaktiga meningsuppbyggnader.

Det finns också personer på hemmaplan som har gjort detta arbete genomförbart. Min sambo Joel, som har trott på mig och som har sett till att det finns ett stadigt förråd av mat och choklad. Min pappa, som har spenderat otaliga timmar i telefon och outtröttligt bollat idéer och förklarat olika begrepp till arbetet. Min mamma som har varit ett mentalt stöd och stöttepelare. Jag vill också tacka mina syskon och ett ägna ett särskilt tack till Linton, för att ni har fått mig att skratta när det har behövts. Slutligen vill jag tacka alla mina fina vänner. Ni har trott på mig när jag själv har tvivlat och för det är jag evigt tacksam.

Förkortningar

<i>BBEST</i>	–	Balfour Beatty embedded slab track
<i>CBA</i>	–	Cost–Benefit Analysis
<i>CO₂e</i>	–	Koldioxidekvivalent är ett sätt att jämföra vilken påverkan olika växthusgaser har för växthuseffekten, uttryckt som koldioxid. Några gaser som inkluderas är metangas (CH ₄) och lustgas (N ₂)
<i>EIA</i>	–	Environmental Impact Assessment
<i>EPD</i> [®]	–	Miljövarudeklaration [®] (Environmental Product Declaration), internationella EPD [®] –systemet som har ett registrerat varumärke
<i>FU</i>	–	Funktionell enhet (Functional Unit)
<i>ISO</i>	–	International Organization for Standardization, oberoende, icke-statlig internationell organisation som inkluderar medlemmar från olika nationella standardiseringsorgan som syftar till att utveckla global standard
<i>LCA</i>	–	Livscykelanalys (Life Cycle Analysis)
<i>LCC</i>	–	Livscykelkostnad (Life Cycle Cost)
<i>LCM</i>	–	Livscykel (Life Cycle Management)
<i>LOU</i>	–	Lagen om Offentlig Upphandling
<i>LUF</i>	–	Lagen om Upphandling inom Försörjningssektorerna
<i>LUFS</i>	–	Lagen om Upphandling på försvars- och säkerhetsområdet
<i>LUK</i>	–	Lagen om Upphandling av koncessioner
<i>MCA</i>	–	Multikriterieanalys (Multi-Criteria Analysis)
<i>NPV</i>	–	Net Present Value
<i>PCA</i>	–	Product Category Rules
<i>SIS</i>	–	Sveriges nationella standardiseringsorgan, medlem i ISO
<i>SLCA</i>	–	Social- och samhällslig livscykelanalys
<i>SETAC</i>	–	Society for Environmental Toxicology and Chemistry

Innehållsförteckning

1. Introduktion	1
1.1 Syfte och frågeställningar	2
1.2 Avgränsningar	3
1.2.1 Systemgränser för livscykelanalys	3
1.2.2 Systemgränser för kostnads kalkyl	5
1.2.3 Driftteknisk systemgräns	6
2. Bakgrund.....	7
2.1 Sveriges klimatmål för fordonssektorn	7
2.2 Offentliga upphandlingar i järnvägssektorn	7
2.3 Satsningar på en ny höghastighetsbana	8
2.3.1 Ostlänken	9
2.4 Järnvägar.....	10
2.4.1 Banöverbyggnad	10
2.4.2 Slitage på banöverbyggnad.....	16
3. Företaget Systecon	18
3.1 Introduktion till Systecon.....	18
3.2 Pågående projekt inom Systecon.....	18
3.3 Arbetsmetodik i anskaffningsprojekt.....	19
3.3.1 Arbetsmodell mot kund.....	19
3.3.2 Evalueringsmetod.....	20
4. Teoretiskt ramverk	21
4.1 ISO-standard	21
4.2 Livscykelanalys.....	21
4.2.1 Produktionsfas.....	22
4.2.2 Byggprocesskede	26
4.2.1 Användningsskede	27
4.3 Livscykelkostnad	28
4.3.1 Kostnadsbedömning av Ostlänken.....	30
4.4 Tillgänglighet av tekniska system.....	30
4.4.1 Tillgänglighet av Ostlänken	31
4.5 Multikriterieanalys.....	32

5. Metod	33
5.1 Fallstudie som forskningsstrategi	33
5.2 Materialinsamling	34
5.2.1 Litteraturstudie	34
5.2.2 Intervjuer	34
5.2.3 Miljövarudeklaration	37
5.2.4 Klimatkalkyl	37
5.3 Beräkningar	38
5.3.1 Beräkning av mängd koldioxidekvivalenter enligt ISO-standard	38
5.3.2 Kostnadskalkyl	40
5.3.3 Beräkning av teknisk tillgänglighet	41
5.4 Beräkningar för evalueringsmodell	41
5.5 Källkritik	42
6. Resultat	43
6.1 Livscykelanalys	43
6.2 Kostnader	47
6.3 Tillgänglighet	48
6.4 Beräkningar för evalueringsmodell	48
7. Diskussion	52
7.1 Resultat av fallstudien	52
7.2 Modellen som analysverktyg	54
7.3 Tillämpning av modellen i Systecons verksamhet	55
7.4 Förslag på vidare studier	56
8. Slutsats	58
Referenser	59
Tryckta källor	59
Internetkällor	62
Intervjuer	64
Bildkällor	65
Appendix A – Intervjufrågor	67
Appendix B – LCA	70
Koldioxidvärden	70
Beräkningar	71

Appendix C – LCC	74
Appendix D – Beräkningar av andelar till utvärderingsmodell.....	75

1. Introduktion

Hållbarhet är ett centralt ord i Förenta Nationernas (FN) rapport *Agenda 2030*. Hållbarhet syftar till att tre hörnstenar ska tas hänsyn till: ekonomi, miljö och social/samhällelig aspekt. Agenda 2030 sammanställdes år 2015 och innehåller sjutton globala hållbarhetsmål som världens länder gemensamt ska jobba mot. Syftet med Agenda 2030 är att främja en hållbar utveckling världen över. Projektet trädde i kraft i början på år 2016 och målen ska ha uppnåtts till år 2030 (Regeringskansliet, 2016). Ett av hållbarhetsmålen är att minska växthusgasutsläppen med 40 procent till år 2030 och med 80–95 procent till år 2050, jämfört med år 1990 (Naturvårdsverket, 2019b).

I Sverige står transportsektorn för en tredjedel av det totala utsläppet av koldioxid. Även om nya tekniker implementeras på transportmarknaden är förbränningen av fossila bränslen, som bensin och diesel, fortfarande dominerande. Ett mer miljövänligt transportalternativ är tåg, som endast genererar runt en procent av transportsektorns totala utsläpp i Sverige. För att nå målen i Agenda 2030 ska Sverige minska miljöutsläppen från hela transportsektorn med minst 70 procent till år 2030, jämfört med år 2010 (Miljödepartementet, 2017; Naturvårdsverket, 2019c).

Med ambitiösa klimatpolitiska mål om sänkta koldioxidutsläpp inom transportsektorn, har det blivit mer aktuellt för Trafikverket att höja kraven på entreprenaders miljöpåverkan (Miljödepartementet, 2017; Trafikverket, 2019a). För att undersöka en produkt eller systems totala utsläpp kan en *livscykelanalys* (LCA) genomföras. En LCA baseras på standardiseringarna ISO-14040 och ISO-14044 och syftar till att ta fram ett systems totala miljöpåverkan, från utvinning och byggnation till avvecklingsstadiet. Inom järnvägssektorn står byggnation och underhåll av järnvägar för en stor del av tågsektorns totala utsläpp och är därför ett intressant område att studera vidare (Upphandlingsmyndigheten, 2019).

Ett företag som samarbetar med Trafikverket i anskaffningsprojekt inom järnvägssektorn är Systecon. Systecon är ett konsultföretag som är specialiserade på *livscykelhantering* (LCM) och *livscykelkostnad* (LCC). Medan LCA kan användas för att undersöka ett systems totala miljöpåverkan, är LCC en metod för att ta fram ett systems totala kostnad och LCM för att undersöka systemets optimala nyttjande. Genom att se till ett komplext systems totala kostnad och tillgänglighet, hjälper företaget sina kunder dels att utvärdera de bästa alternativen vid anskaffningsprojekt, samt effektivisera dess verksamhet (Systecon, u.å. c). Företaget arbetar för tillfället tillsammans med Trafikverket i anskaffningsprojektet Ostlänken, en sträcka mellan Stockholm (Järna i Södertälje kommun) och Linköping. Ostlänken är första deletappen av den planerade stambanan som ska gå mellan Stockholm-Göteborg och Stockholm-Malmö (Ostlänken, u.å. a). I dagsläget jobbar inte Systecon med miljöpåverkan i sina evalueringar, men ser det som en intressant utvecklingspotential. Från detta har det genomförda arbetet fokuserat på att göra en LCA-beräkning och därefter undersökt hur den kan kopplas samman

med kostnad och tillgänglighet. Dessa tre kriterier har slutligen vägts mot varandra i projekt Ostlänken.

1.1 Syfte och frågeställningar

Banöverbyggnad är den översta delen av järnvägens uppbyggnad och idag används främst ballast som banöverbyggnad i Sverige. Däremot börjar ballastfria alternativ, så kallat fixerat spår, användas i större utsträckning runt om i världen. Fixerade spår består främst av betong och möjliggör högre hastigheter för tågtrafiken samt kräver mindre underhåll under sin livstid.

Syftet med rapporten var dels att göra en livscykelanalys på de två typerna av järnvägsspår för att jämföra mängden koldioxidutsläpp. Ostlänken är den del av den nya stambanan som har kommit längst i arbetet. Genom att utgå från Ostlänken kunde alternativ för den nya stambanan utredas. Vidare undersöktes hur en miljöaspekt skulle kunna integreras i Systecons utvärderingsmodell, som idag tar hänsyn till kostnad och tillgänglighet.

En central fråga i arbetet är:

- Hur bör utvärderingsmodeller utformas för att sammanväga klimatpåverkan med icke-monetära utvärderingskriterier i val av lösning i stora infrastrukturprojekt?

För att belysa frågeställningen användes Trafikverkets anskaffningsprojekt Ostlänken som fallstudie. För att besvara den huvudsakliga frågan formulerades tre frågeställningar:

- Vilka faktorer behöver man ta hänsyn till för ballasterat och fixerat spår vid undersökning av koldioxidutsläpp i byggnation av Ostlänken?
- Hur kan dessa faktorer klimatpåverkan jämföras?
- Hur kan man väga samman olika faktorer för att skapa en effektiv helhetslösning med avseende på samtliga faktorer i en utvärderingsmodell för Ostlänken?

1.2 Avgränsningar

Det geografiska området som har studerats är begränsat till Ostlänken mellan Stockholm och Linköping som kommer byggas som ballasterat dubbelspår. De tre kriterierna för en hållbar järnvägsinfrastruktur som har inkluderats är klimatpåverkan, ekonomi och tillgänglighet. Förutom miljö och ekonomi ingår sociala- och samhällseliga aspekter i definitionen av hållbarhet, vilket kan utvärderas genom social- och samhällselig livscykelanalys (SLCA). Genom SLCA kan det exempelvis fås insikt i hur löner och arbetsförhållanden ser ut för arbetstagarna under en produkt eller systems livscykeln. SLCA är svårare att mäta än både LCA och LCC då dessa analysmetoder kan sammanställas till en funktionell enhet utifrån kvantitativa studier, medan det i en SLCA snarare handlar om kännetecken och egenskaper i processer under livscykeln. En problematik vid värdering av sociala och samhällseliga faktorer handlar om att olika studier kommer fram till olika värderingskriterier som ska tas med i analysen. SLCA blir ofta en dyr process som kräver en stor mängd kvalitativa data och det kan vara svårt att bedöma hela livscykeln eftersom avgränsningen för den sociala eller samhällseliga påverkan är mer flytande (Kloepffer; UNEP och SETAC, 2009, 8, 41). SLCA har inte inkluderats i beräkningarna eller den utformade modellen, men analyseras vidare i diskussionen (kapitel 8).

1.2.1 Systemgränser för livscykelanalys

En livscykelanalys tar hänsyn till ett systems eller komponents totala miljöpåverkan under dess livstid. Det kan lätt leda till väldigt komplexa och omfattande beräkningar med många antaganden. Därför är det viktigt att skapa rimliga och genomförbara systemgränser (se figur 1, för vilka systemgränser som valdes). Detta arbete kommer att jämföra två typer av banöverbyggnader, ballasterat och ballastfritt spår, så kallat fixerat spår, ur ett livscykelperspektiv. Järnvägssträckan kommer att byggas som dubbelspår och i arbetet undersöktes en sträcka på en kilometer. Underbyggnaden till banan antogs vara densamma för de två varianterna och är därmed inte relevant i jämförelsen (i kapitel 6.1 beskrivs järnvägens uppbyggnad). I en LCA kan flera miljöpåverkansfaktorer vara intressanta att undersöka, till exempel koldioxidutsläpp, försurning, abiotisk utarmningspotential, påverkan på närliggande vattendrag och ozonutarmningspotential. I arbetet har endast utsläpp av växthusgaser tagits med i beräkningarna, även kallat koldioxidekvivalenter. Detta då det dels har varit lättare att hitta siffror på detta jämfört med andra miljökritiererna, men också för att hålla nere arbetets omfång. Koldioxidekvivalent är ett sätt att jämföra vilken påverkan olika växthusgaser har för växthuseffekten, uttryckt som koldioxid. Några gaser som inkluderas är koldioxid (CO_2), metangas (CH_4) och lustgas (N_2).

I en LCA ska transporter till och från produktionsplats till byggarbetsplats och transporter till deponi- och återvinningsstationer ingå. Då det inte var bestämt när arbetet skrevs, var alla byggkomponenter kommer att produceras eller var deponi av använt material kommer att lämnas, var leveranssträckorna okända och bortsågs i beräkningarna. I en LCA ska nedmontering och deponi/återvinning ingå i beräkningarna, vilket inte tagits med i detta

arbete. En anledning var för att fixerat spår är en relativt ny metod inom järnvägssektorn och än har inget spår monterats ner. En annan anledning var för att varken beräkningar av kostnader eller tillgänglighet för de olika banöverbyggnaderna var medräknade och för att undvika alltför missvisande modell, uteslöts stegen. Vidare har klimatpåverkan från konstruktion, underhåll och avveckling av arbetsmaskiner inte tagits hänsyn till i arbetet. Transport av arbetsmaskiner till och från byggarbetsplatsen, dieselutvinning eller anställdas transport till och från arbetet är ytterligare några exempel som inte har inkluderats i LCA:n (Bressi et.al., 2018; Stripple och Uppenberg, 32).

Det finns olika typer av ballasterat och fixerat spår. I en ballastbanöverbyggnad kan exempelvis bitumenemulsion användas vid konstruktion och underhåll för att stabilisera ballasten. Det är ett bindemedel som ska göra att ballastbanöverbyggnaden håller formen längre och därmed behöver mindre underhåll (Bressi et.al., 2018). Det här arbetet har endast behandlat traditionellt ballastspår där andra metoder inte nämns. De material som har inkluderats i ballasterat spår var följande:

- Ballast
- Betongslipers med armeringsstål och fästsystem inkluderat
- Råler av stål
- Isolator av polyamid
- Mellanlägg av neopren elastomer

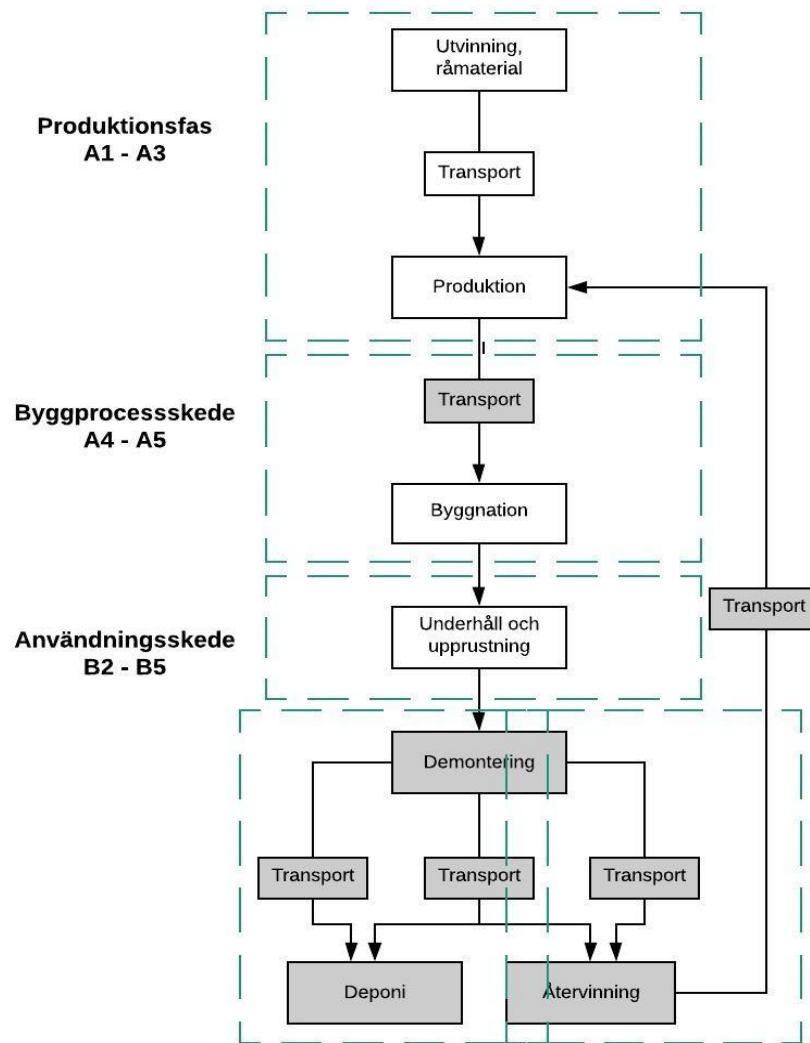
Det finns flera olika typer av fixerat spår. Trafikverket utgår inte från någon specifik typ i sin tekniska kravspecifikation och i detta arbete kommer de tre alternativen Rheda 2000®, Balfour Beatty embedded slab track, förkortat BBEST och Bögl att benämnas. I LCA-beräkningar för fixerat spår ingick materialen:

- Betong
- Betong (cement)
- Råler av stål
- Armeringsstål
- Isolator av polyamid
- Mellanlägg av neopren elastomer

Detta är alltså oberoende typ av fixerat spår.

Utvinning och produktion av stål, ballast och betong beskrivs, medan övriga material som neopren elastomer och polyamid endast nämns. Däremot är materialens klimatpåverkan inkluderade i genomförda beräkningar. Samtliga material antogs vara nyproducerade och inte innehålla någon del återvunnet material.

Slutligen ska nämnas att betong har en förmåga att binda koldioxid under användningsfasen och därmed minska materialets totala koldioxidutsläpp (Stripple och Uppenberg, 2010). Inga sådana värden har varit inkluderade i erhållna data och har heller inte tagits hänsyn till i denna rapport men skulle kunna tänkas påverka resultatet till fördel för fixerat spår.



Figur 1: Figuren visar de delar i en livscykelanalys som inkluderades i arbetet. De gråa rutorna har inte tagits med i analysen.

1.2.2 Systemgränser för kostnads kalkyl

Systecon arbetar bland annat med att genomföra utvärderingar av kostnader genom livscykelkostnad (LCC). Genom LCC kan ett systems eller komponents totala kostnad under dess livstid tas fram. Liksom vid LCA-beräkningar finns det många faktorer att ta hänsyn till vid en LCC. I denna rapport har endast kostnader som är knutna till Ostlänken som järnvägssystem tagits hänsyn till. Det vill säga, kostnad för investering i järnvägen, underhållskostnader, reinvesteringsskostnader samt driftkostnader. Exempel på andra kostnader som inte inkluderades var biljettintäkter, banavgifter eller hur övrig kollektivtrafik förväntas att påverkas av typ av banöverbyggnad.

1.2.3 Driftteknisk systemgräns

I denna rapport har tillgänglighet tagits med som driftteknisk systemgräns. Systecon definierar järnvägens tillgänglighet som funktion av den valda tekniska lösningen. Beräkning av systemets tillgänglighet följer Systecons utformning och inkluderar felfrekvens för systemet, inställelsetid för reparation samt reparationstiden (Rauma, 2020). Andra typer av tillgänglighet som inte har tagits med, är exempelvis frekvens på avgångar eller anslutningstider mellan övrig kollektivtrafik och tågavgångar.

2. Bakgrund

I detta avsnitt introduceras den svenska regeringens klimatmål, vars intention är att nå FN:s hållbarhetsmål i Agenda 2030 (kapitel 2.1). Därefter beskrivs offentliga upphandlingar i järnvägssektorn som är en viktig del av Systecons verksamhet i anskaffningsprojekt (kapitel 2.2). Detta följs av den planerade satsningen på en ny stambana till Sveriges järnväg (kapitel 2.3) och Ostlänken som är den första delen av den nya stambanan (kapitel 2.3.1). Slutligen presenteras olika typer av järnvägar (kapitel 2.4) och hur banöverbyggnaderna är konstruerade (kapitel 2.4.1) samt konsekvenser av slitage (kapitel 2.4.2).

2.1 Sveriges klimatmål för fordonssektorn

Ett av de sjutton målen i FN:s hållbarhetsrapport Agenda 2030 från 2015, är att minska växthusgasutsläppen i världen. Regeringen antog under sommaren 2017 ett nytt ramverk för att öka tydligheten i Sveriges klimatpolitik, som en satsning att nå klimatmålen i Agenda 2030. Det nya ramverket innehåller tre delar: klimatlag, klimatmål och ett klimatpolitiskt råd som är politiskt oberoende med expertkunskap inom olika klimatområden (Klimatpolitiska rådet). Ett nationellt mål är att Sverige ska vara koldioxidneutralt senast år 2045 och därefter ha negativa utsläpp¹. I Sverige står transportsektorn för omkring en tredjedel av de totala koldioxidutsläppen och för att nå målet att vara koldioxidneutralt till 2045, ska utsläppen från transportsektorn sänkas med minst 70 procent, senast till år 2030 (jämfört med år 2010). Tåg är ett mer miljövänligt transportalternativ i Sverige då de är elektrifierade och drivs av fossilfria kraftslag. Med ökade krav på minskade utsläpp i transportsektorn görs stora satsningar inom järnvägssektorn, för att locka fler resenärer att välja tåg som transportmedel (Miljödepartementet, 2017).

2.2 Offentliga upphandlingar i järnvägssektorn

Offentlig upphandling innebär att en upphandlande myndighet köper, hyr eller på annat sätt anskaffar varor, tjänster eller byggtreprenader. Exempel på upphandlande myndigheter är statliga myndigheter, kommuner, landsting samt kommunalt eller statligt styrda bolag. För att på bästa sätt ta tillvara på konkurrensen på marknaden och hushålla med skattemedlen måste myndigheter följa upphandlingslagarna. Dessa är LOU, LUF, LUFS och LUK (Upphandlingsmyndigheten och Konkurrensverket, 2018, 28).

Så definierar Upphandlingsmyndigheten och Konkurrensverket offentlig upphandling i en gemensam rapport från 2018. Enligt lag hör järnvägssektorn till offentlig upphandling (SFS 2016:1145, paragraf 8). Trafikverket är en svensk myndighet som ansvarar för en långsiktig infrastrukturplanering, byggnation, drift och underhåll av järnvägarna i Sverige. Då det är en

¹ Negativt utsläpp innebär att större mängd koldioxid samlas in från luften och lagras jämfört med mängden som släpps ut.

verksamhet som levererar och sköter ett offentligt nät av transporttjänster omfattas det av *Lagen om Upphandling inom Försörjningssektorn* (LUF). I LUF tydliggörs det hur upphandlingar ska gå till och hur leverantörer ska väljas för olika uppdrag. Offentliga upphandlingar har en stor betydelse i svenska samhället då myndigheten ska maximera nyttan av skattepengarna och är viktig för många företag och organisationer (Pedersen, 2019, 41, 66; Trafikverket, 2017).

I ett anskaffningsprojekt får de aktuella aktörerna lämna ett anbud som Trafikverket utvärderar. Ofta är det den aktör som kan redovisa lägst kostnadsförslag som slutligen vinner upphandlingen och blir ansvarig för den aktuella delen i ett projekt (Trafikverket, 2018a). Inom exempelvis energibranschen har både livscykelanalys och livscykelkostnad länge tagits med som viktiga parameterar vid upphandlingar. Detta är inte fallet inom transportsektorn (Upphandlingsmyndigheten, 2019). För att nå målet med en klimatneutral fordonssektor har däremot Trafikverket börjat att arbeta med ett bredare spektrum vid anskaffningsprojekt. Klimatpåverkan har fått allt mer utrymme och högre krav har börjat att ställas på aktörer som bland annat levererar material och arbetar med byggnation och underhåll (Trafikverket, 2019c).

2.3 Satsningar på en ny höghastighetsbana

Sveriges stambanor är i grunden 150 år gamla och har en begränsad kapacitet att utvecklas för högre hastigheter. Järnvägskapaciteten är idag maximerad och den höga konkurrensen på järnvägarna, tillsammans med återkommande underhållsbehov, leder ofta till förseningar och inställda tåg. Detta är ett stort hinder för att järnvägssektorn ska kunna utvecklas (Andersson, Berg och Stichel, 2016; Trafikverket, 2019b). För att stärka järnvägen som ett konkurrenskraftigt alternativ mot andra transporter som bil och flyg, ska en ny stambana byggas. Syftet med en ny stambana är bland annat minska transportsektorns koldioxidutsläpp och genom att öka kapaciteten på järnvägarna med högre tillgänglighet av systemet, kortare restider och mer frekventa avgångar ska det bli smidigare att ta tåget, både nationellt och i förbindelse till andra länder (Ostlänken, u.å a; Trafikanalys, 2019). Med nya spår frigörs även de gamla stambanorna vilket kommer att leda till att godstransport kan separeras från persontrafiken. Detta kommer att öka kapaciteten, såväl för godstrafik som för persontrafik. Med ökad kapacitet för godstrafiken är målet att godsleveranser ska ske i större utsträckning via tåg, jämfört med idag då lastbil är det dominerande. Detta kommer också leda till lägre växthusgasutsläpp. Ytterligare ett mål med en ny stambana är att locka människor att bosätta sig i städer utanför storstadsregioner när pendlingstiden blir kortare (se tabell 1). Detta kan leda till att större städer avlastas samtidigt som mindre kommuner gynnas (Andersson, Berg och Stichel, 2016; Trafikverket, 2019c).

Tabell 1: I tabellen listas den totala restiden för direkttåg mellan de tre största destinationerna av den nya stambanan. Ballasterat spår har hastigheten 250 km/h och fixerat spår 320 km/h (Trafikverket, 2018a).

Tågsträcka	Restid idag	Restid i 250 km/h (ballast)	Restid i 320 km/h (fixerat)
Stockholm – Malmö	4 h och 22 min	2 h och 52 min	2 h 28 min
Stockholm – Göteborg	3 h och 9 min	2 och 10 min	2 h
Stockholm – Linköping	1 h 45 min	1h 2 min	56 min

2.3.1 Ostlänken

Ostlänken är den första sträckan av den planerade nya stambanan. Regeringen har tilldelat Trafikverket projektet som är en 16 mil lång sträcka mellan Stockholm (Järna i Södertälje kommun) och Linköping Centralstation. Fem hållplatser ska byggas längs med sträckan (se figur 2 och 3), (Ostlänken, u.å a). Byggnationen är planerad att börja år 2022 och vara öppen för tågtrafik år 2035 (ÅF/Tyréns, 2019, 33). Sträckan kommer att vara dubbelspårig, byggas i ballast och ha en kapacitet att köra i en hastighet på 250 km/h. I ett tidigare skede i planeringen utforskades möjligheterna att bygga banan som fixerat spår, som tack vare en mer stabil konstruktion klarar av tåghastigheter på 320 km/h. Kraven på spårkonstruktioner ökar med högre hastigheter och i utredningen för Ostlänken gick det inte att motivera den högre ekonomiska kostnaden mot den marginella tidsvinst en högre hastighet skulle ge. Men den nya banan kommer restiden mellan Stockholm–Linköping att bli ungefär en timme kortare, jämfört med idag (se tabell 1). Runt 200 nya broar kommer att byggas och det planeras för totalt 20 km tunnel med längder mellan 100 meter till 8 kilometer (Backlund och Ström, 2020; Trafikverket, 2019c).



Figur 2: Figuren visar den planerade Ostlänken som ska gå mellan Järna och Linköping. Som visas kommer Vagnhärad, Skavsta, Nyköping och Norrköping vara hållplatser i Ostlänken (Ostlänken u.å).

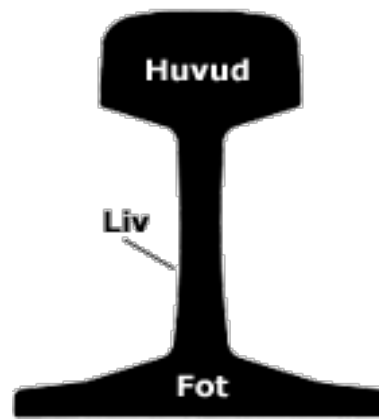
2.4 Järnvägar

2.4.1 Banöverbyggnad

Både ballasterat och fixerad banöverbyggnad har två räler² överst på banan. Standardrälen i Sverige är modell UIC 60, som består av stål³. Formen är ett huvud, liv och fot (se figur 3 som visar en enkel ritning av en räl). Spårvidd är bredden mellan två rälers innerkanter och är i vanligaste fall 1,435 meter i Sverige (Järnväg.net, u.å). I Sverige är de tre vanligaste vikterna 43 kg/m, 50 kg/m respektive 60 kg/m. Rälsens förmåga att bära tyngre och snabbare tåg ökar med dess tyngd, där tyngre räls klarar tyngre tåg med högre hastighet (Karlsson, 2015, 6). Rälerna tillverkas i upp till 60 meter långa stycken och svetsas ihop till 420 meter innan de levereras till byggplatsen, så kallat helsvetsat spår (Järnväg.net, u.å).

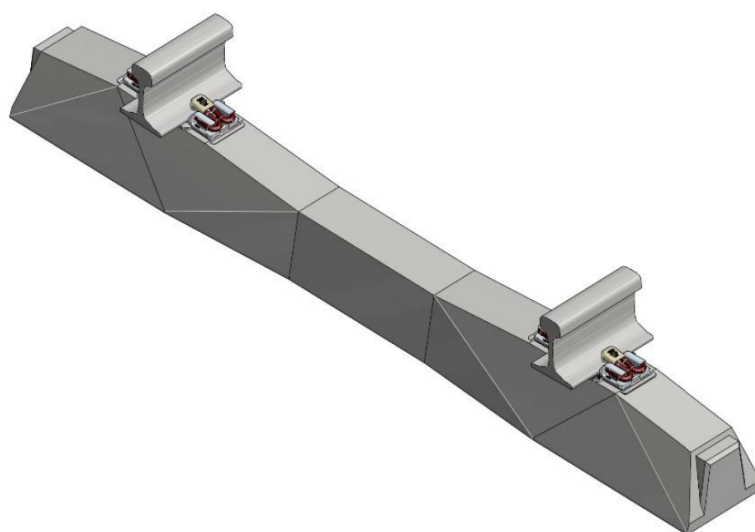
² Räl i singular, två räler och räls i obestämd form

³ Tidigare modeller var gjorda av järn därav namnet järnväg (Järnväg.net, u.å)

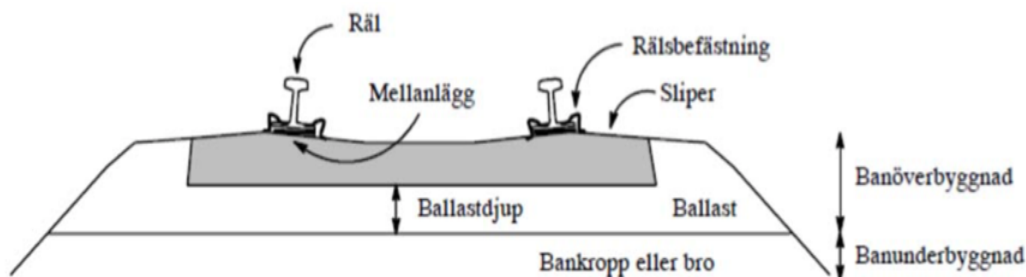


Figur 3: En räl i tvärsnitt med huvud, liv och fot (Järnväg.net, u.å).

Vid ballasterat spår är rälerna placerade ovanpå sliprar av betong. Betongslipers har en stålarmering, liknande en knippe ställinor, som stärker betongen och gör befästningen mellan räl och sliper bättre. Standardslipern i Sverige är SBR25ML (se figur 4), (Järnväg.net, u.å). Räl och sliper hålls ihop genom rälsbefästning där Pandrol Fastclip är standardbefästning (Hammar, 2015, 26). Syftet med rälsbefästningen är att pressa ihop räl och slipers och därmed motverka att rälsen ändrar form eller förskjuts i sidled (Hammar, 2015, 15). Mellan rälsbefästning och sliper placeras ett mellanlägg vilken vanligtvis är gjord av gummi. Mellanlägget har som funktion att jämna ut tyngden, minska slitage och öka fjädringen i spåret (Järnväg.net, u.å; Hammar, 2015, 26). Den understa delen i banöverbyggnaden är ballast. Ballast som består av grus eller makadam där makadam är det vanligaste ballastmaterialet i Sverige (se figur 5), (Karlsson, 2015, 27). Makadamen pressas samman till ett hårt spårbäddsmaterial vilket ger en bra stabilitet för rälsen och har bra avrinning som minskar risken för tjälskador under kallare perioder på året samt motverkar vegetation under spåret.

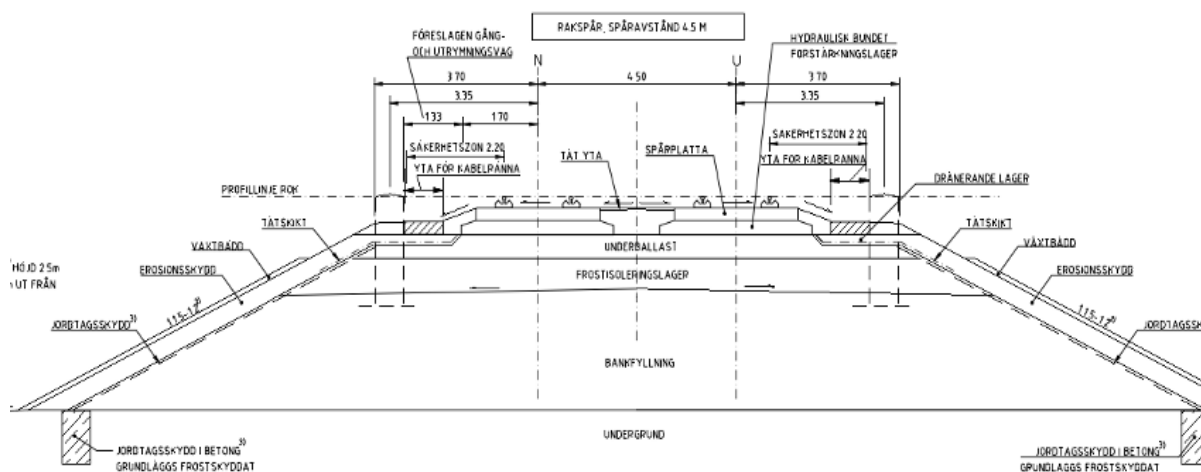


Figur 4: Figuren visar en betongsliper av modell SBR25ML och två räler som hålls på plats med rälsbefästningen Pandrol Fastclip (Strängbetong rail AB, 2017).



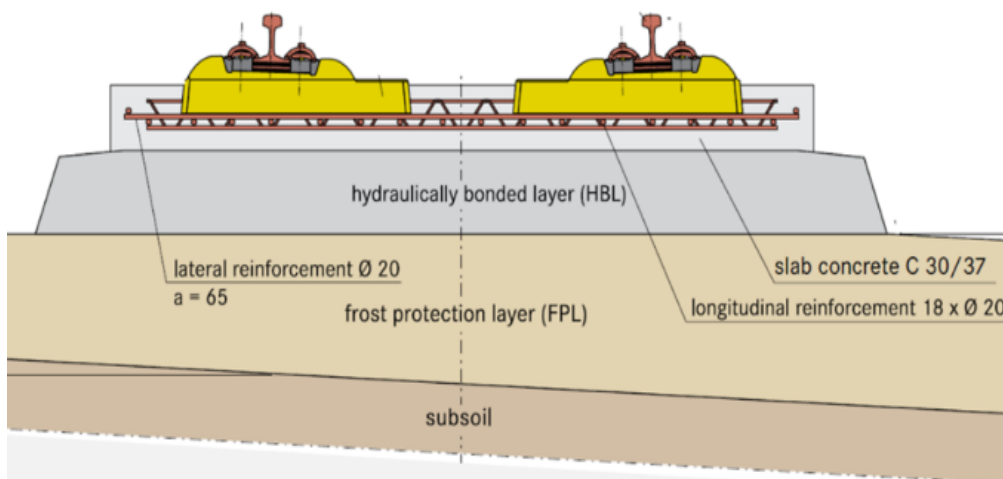
Figur 5: Ett ballasterat spår i tvärsnitt (Karlsson, 2015, 27).

Tekniken för fixerat spår⁴, eller ballastfritt spår, har funnits länge men intresset för det har vuxit de senaste fyrtio åren. En drivkraft till att utveckla fixerade spår är framväxten av höghastighetsbanor. I och med att fixerade spår är mer stadiga i konstruktionen klarar de högre tåghastigheter än ballasterade spår (Giunta och Praticò, 2017). Det finns många olika varianter av fixerat spår. En indelning är om det är *diskret* (punkter) eller *kontinuerligt stöd* för rälsen. För diskreta, fixerade spår lyfts rälsen av stödpunkter såsom gjutna betongsliprar. Spår som har kontinuerligt stöd, kallas även *inbäddat spår*, och innebär att rälsen har konstant kontaktyta med betongunderlaget och mellanlägget av fjädrade dynor. Det går också att dela upp fixerat spår efter hur konstruktionen utförs. Det kan antingen göras som prefabricerade block eller gjutas på plats (Esveld, 2001, 234). Då Trafikverket har undersökt alternativ för att använda fixerat spår jämfört med ballastspår har de inte utgått från en specifik typ av fixerat spår, utan en generell modell. I figur 6 visas en teknisk kravspecifikation för hur ett fixerat spår kan byggas i enlighet med myndighetens krav (Harryson, 2020). Tre exempel på fixerade spår är det diskreta spåret Rheda 2000® (se figur 7 och 8), det prefabricerade spåret Bögl (se figur 9 och 10) och det inbäddade spåret Balfour Beatty embedded slab track, förkortat BBEST (se figur 11, 12 och 13).



Figur 6: En ritning av Trafikverkets tekniska kravspecifikation för fixerat spår (Trafikverket, 2019a).

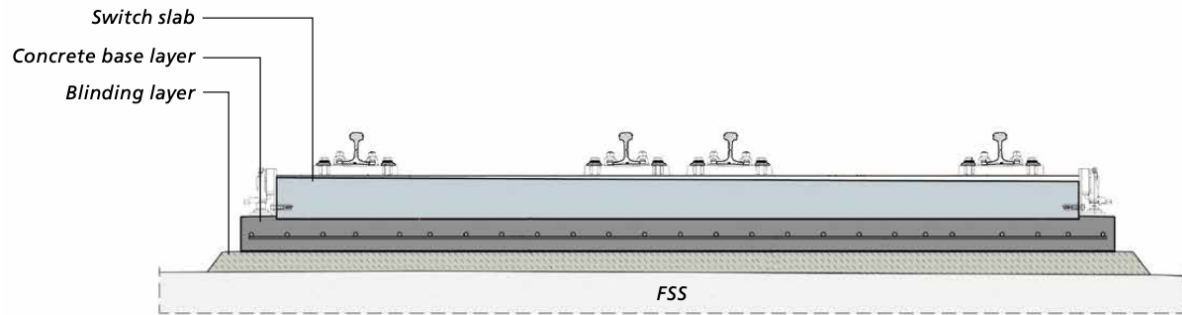
⁴ På engelska Slab track



Figur 7: Det fixerade spåret Rheda 2000® som är ett diskret-fixerat spår där rälsen ligger ovanpå betongsliprar. Sliprarna är inbäddad i en sammanhängande, armerad betongplatta. Under betongplattan finns ett lager av fjädrande bottenplattor och ett frostskyddande lager. Rälerna är fästa i betongen med elastiska fästen, (RailOne, 2011).



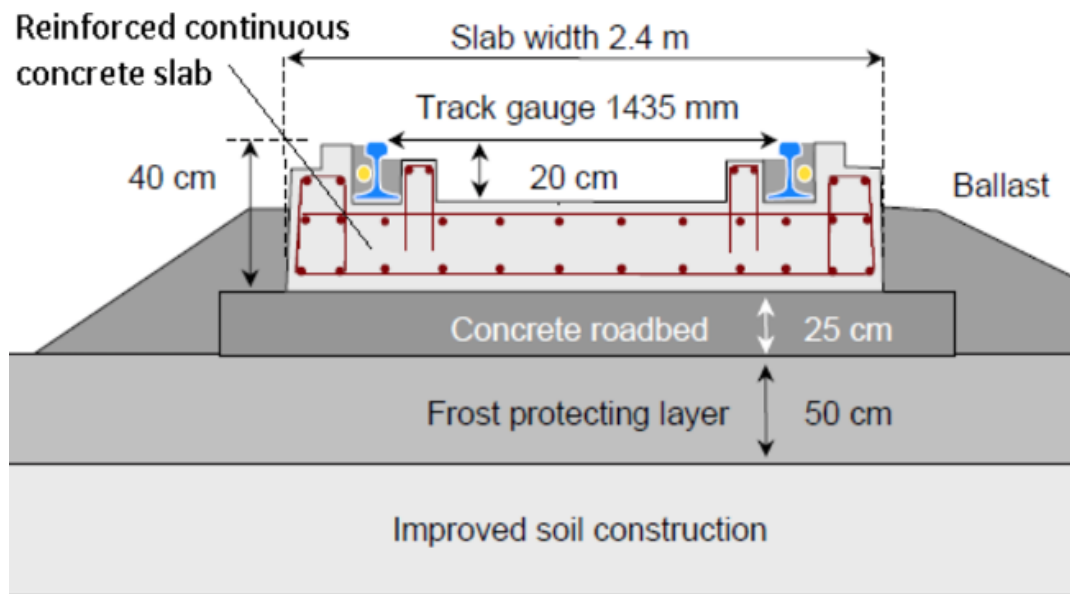
Figur 8: En anläggning med Rheda 2000® (RailOne, 2011).



Figur 9: Det fixerade spåret Bögl i tvärsnitt som är ett diskret-fixerat spår som är prefabricerat och levereras till byggplatsen i färdiga stycken istället för att gjutas på plats (Esveld, 2001, 247, 251; Bång, 2020; Tarmac-Maxboegl, 2015, 15)

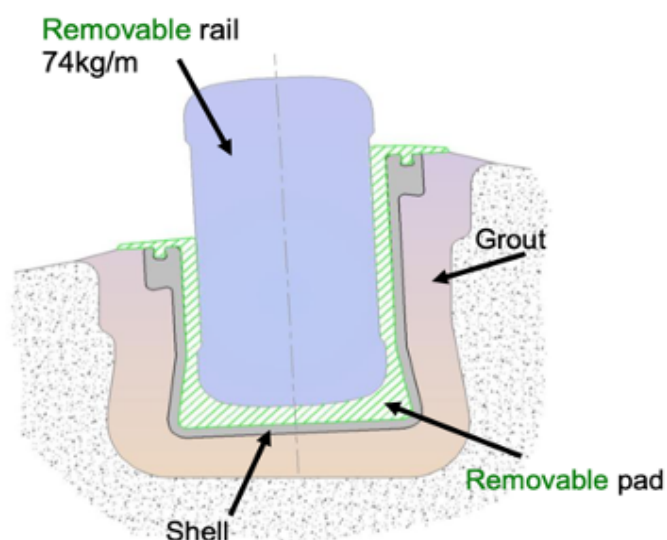


Figur 10: Bögl levereras som prefabricerade delar med förmonterade spårfästen (Tarmac-Maxboegl, 2015, 21).



Figur 11: Konstruktion av ett fixerat– inbäddat spår i tvärsnitt. Balfour Beatty embedded slab track (BBEST) är ett exempel på inbäddat, fixerat spår. Denna typ av spår saknar sliprar och rälsen är istället placerad i en fjädrande (vadderad) skena där endast rälshuvudet sticker upp. Rälen och skenan omsluts av ett glasförstärkt plastskal som är fixerad i betongen. Denna typ av bankonstruktion är enkel till sin konstruktion med få komponenter. Både räl och den fjädrande skenan är utbytbara (Esveld, 2001, 253–254).

(Esveld, 2001).



Figur 12: I figuren visas en räl och skena som är omsluten av ett glasförstärkt plastskal som används i BBEST-tekniken (Penny, 2009).



Figur 13: Ett BBEST som är i bruk i Medina, Spanien (Balfour Beatty Rail).

2.4.2 Slitage på banöverbyggnad

Det finns olika faktorer som sliter på en järnväg och för rälerna handlar det bland annat om axellaster, alltså hur stor vikt varje axel på en tågagn har och hur lasten är fördelad. Högre axellast ger större slitage. Klimatet är en annan faktor då regn, snö och vind nöter på stålet. Vid kallare temperaturer blir exempelvis rälerna mer rigida vilket ökar skaderisken, medan varma temperaturer (över 20 grader Celsius) kan ge upphov till så kallad solkurva, där stålet vidgas och böjer sig. Risken för solkurva är mindre vid helsvetsat spår jämfört med skarvspår (Edvardsson och Hedström, 2015, 24–25). Vidare påverkas rälerna olika beroende på spårets form. Vid raka sträckor är det främst utmattningsprickor som skadar rälerna, medan det är vanligare med sidoslitage i kurvor (Trafikverket, 2013). En räls stålqualität och rälens ålder är två andra orsaker som påverkar rälernas kvalitet. Mjukare stål kan leda till mindre utmattning men påverkas samtidigt mer av slitage (Edvardsson och Hedström, 2015, 24–25). Om rälerna ligger på ett ballasterat spår och rälsbefästningen har blivit sämre och/eller ballasten har tappat sin form, kan det leda till att rälerna får hela belastningen från tågtrafiken vilket sliter mycket. Omvänt kan dålig kvalitet på rälsen skada tågens hjul (Trafikverket, 2013). Rälerna har en livstid på ungefär 20 år för ballasterat spår och 30 år för fixerat spår. Anledningen till att livslängden varierar för de två spårtyperna är att rälerna är fastmonterade på olika sätt och med olika komponenter i spåret. Detta påverkar stabiliteten och därmed graden av slitage, där fixerat spår är mer stabilt och vilket gör att rälerna håller längre.

Ballastspår tappar med tiden sin form då makadamen nöts ner och blir till mindre bitar. En nackdel är att materialets effektiva dränering och de fjädrande egenskaperna försvinner. Skulle dräneringen försvinna kan vatten samlas och frysa vid lägre temperaturer vilket kan leda till banförskjutning med tågurspårning som följd. Vegetation i spåret är också en risk för att dräneringen ska minska och banan frysa. Ytterligare två anledningar till att det är viktigt är att hålla spåren fria från vegetation är att brandrisken i spåren ökar vid torra perioder när växtligheten blir torr och risken för att tågen slirar ökar under fuktiga perioder då ogräset blir halt (Hansson, Mattsson och Schroeder, 1995, 6). Mer finkornigt underlag gör också att banvallen blir instabil, minskar förmågan att klara tunga axellaster. Mindre stenbitar riskerar också att sprätta upp när tåg passerar och skadar då både spåret och underredet på tågen. Omvänt kan exempelvis isbitar på tågs underrede lossna och skada spåret. När minst 30 procent av ballaststenarna är mindre än 22,4 millimeter har ballasten nått en kritisk gräns och räknas som förorenat. Överskiktet av ballasten måste då separeras och bytas ut (Bressi et al., 2018; Esveld, 2008, 232). Defekt av ballastgeometrin påverkar betongsliprarna som är känsliga för varierande belastning. Då ballastunderlaget försämras kan sliprarna antingen sjunka ner i underlaget eller bli hängande utan full kontaktyta (Guinta et al., 2018). Om en stor del av slipern hänger utan stöd är den mer utsatt vid varierande tryck. Vid sådana tillstånd kan också ballasten skadas då stenarna nöts ner från det omväxlande trycket. Den största påfrestningen för betongsliprar är ytan under rälerarna. De kan ta stor skada om rälen är skadad eftersom belastningen ökar. Andra faktorer som sliter på betongslipern är tyngden från tågtrafiken, tågens hastighet, om tågens hjul är skadade eller deformerade, avståndet mellan sliprarna samt utformningen av kurvor (Edvardsson och Hedström, 2015, 21–22). Slutligen är kvaliteten på betongsliprarna också en viktig aspekt. Det finns alltid en risk för att slipern är i dåligt skick från början med små sprickor i betongen vilket leder till kortare livstid. Om en sliper har fått sprickor är det nödvändigt att byta ut den eftersom vatten kan sippra in i slipern och skada armeringsstålet. Även befästningar och mellanlägg slits ner eller lossnar under ett spårs livstid. Dessa får då kompletteras eller bytas ut samtidigt som ett spårbyte sker (Edvardsson och Hedström, 2015, 25, 41).

Det är generellt mindre slitage på fixerat spår eftersom banunderbyggnaden är mer solid och inte tappar formen som ballastspår gör. I fixerade spår finns material av gummi som behöver bytas ut med jämna mellanrum då de blir nötta och gamla. Gemensamt för alla fixerade spår är att grundläggningen av järnvägsspåret måste vara väldigt stabil med bra förstärkningsarbete och hög bärlighet. Skulle banunderbyggnadens hållfasthet inte vara tillräckligt hög kan det uppstå sättningar som bland annat kan uppkomma av att spåret sjunker ner i jorden eller påfrestas av trafiken som skapar vibrationer i banan. Detta kan leda till att betongen skadas och spricker (Bång, 2020).

3. Företaget Systecon

3.1 Introduktion till Systecon

Systecon är ett konsult- och programvaruföretag som är specialiserade på systemteknik och försörjning för stora komplexa system. Från början utvecklades företagets verksamhet åt försvarsmakten, men man arbetar idag inom andra områden, bland annat tåg och järnvägssektorn (Systecon, u.å. a). Företaget arbetar i stor utsträckning med anskaffningsprojekt och undersöker hur ett system kan nyttjas maximalt till en minimal kostnad över tid. Det görs genom metoderna *livscykelkostnad* (LCC) och *livscykelhantering*⁵ (LCM), (Systecon, u.å. b). LCC och LCM liknar varandra då de båda syftar till att undersöka hela livstiden för ett komplext system. Skillnaden är att LCM är fokuserat på optimalt nyttjande av systemet medan LCC är mera inriktat på kostnadsutvärdering (Sandin, 2019).

3.2 Pågående projekt inom Systecon

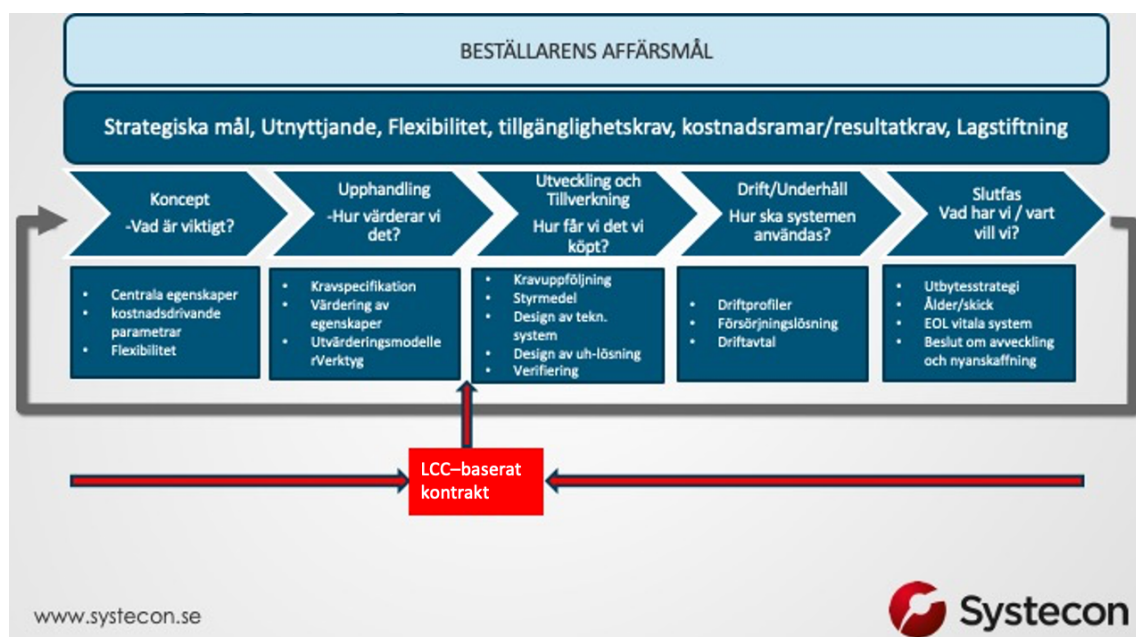
Systecon har flera pågående projekt inom järnvägssektorn och samarbetar bland annat med Trafikverket i anskaffningsprojektet Ostlänken. Ett av Systecons uppdrag är att jämföra två olika varianter av järnvägstunnlar. Tunnlarna kan antingen utformas så att två järnvägsspår går i en tunnel alternativt att spårerna delas upp i två separata tunnlar. Genom att undersöka systemets totala kostnad och driftsäkerhet kan de bästa förslagen redovisas vid en upphandling Rauma (2020). Ett annat utvärderingsprojekt som Systecon är aktiva i inom Ostlänken är att undersöka hur kostnader och tillgänglighet kommer att påverkas beroende på om järnvägen byggs som ballasterat eller fixerat spår i tunnlar. Kirilmaz (2020) menade att en skillnad mellan att undersöka banöverbyggnader för tunnlar och broar, jämfört med banöverbyggnad på vanligt markplan, är att undergrunden är mycket mer stabil. Därmed behöver ingen hänsyn tas till undergrunden i utredningar av banöverbyggnader i tunnel. Även om banunderbyggnad inte har tagits hänsyn till i detta arbete, tillade Kirilmaz (2020) att det är en viktig faktor att väga in och diskutera som en risk. Detta eftersom sämre banunderbyggnad kan påverka fixerat spår med bland annat sättningar som kan leda till förkortad livstid av materialen. Vidare berättade han att det har börjat att genomföras undersökningar för vilka förutsättningar Sverige har att bygga fixerat spår med avseende markgeologin vilket är intressant för den nya stambanan. För den nya stambanan är det inte endast intressant med parametrarna tillgänglighet och kostnad utan andra faktorer som bland annat miljöpåverkan bör tas i beaktande. Då Systecon har ett intresse i att utöka sin utöka sin evalueringsmodell till att inkludera flera parametrarna vid utvärderingar i anskaffningsprojekt, var detta arbete av intresse för företaget. Miljöfrågan är särskilt intressant för företaget då de bland annat har tätt samarbete med Trafikverket som har en ambition om att ta mer hänsyn till miljöpåverkan i anskaffningsprojekt. Eftersom Systecon för tillfället är aktiva inom Ostlänken var det en bra utgångspunkt för att genomföra en fallstudie inför kommande anskaffningsprojekt av den nya stambanan.

⁵ På engelska Life Cycle Management

3.3 Arbetsmetodik i anskaffningsprojekt

3.3.1 Arbetsmodell mot kund

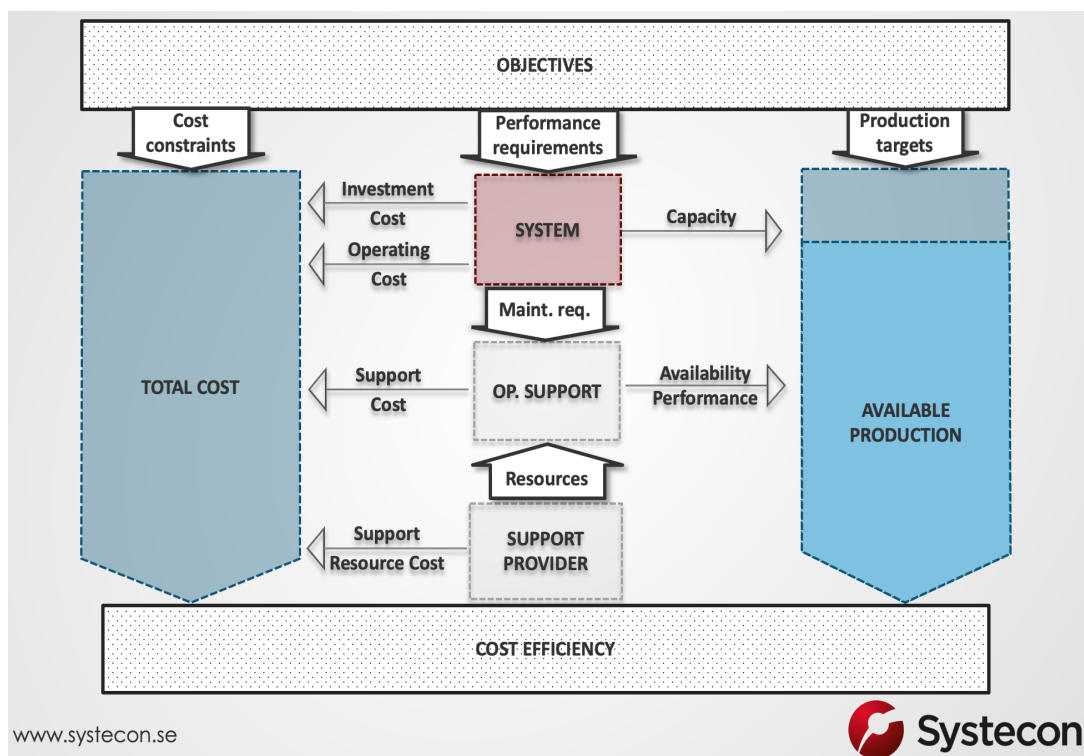
Ett LCC-projekt är uppdelat i flera delar och det finns en viss ordning i hur en sådan analys utförs när Systecon jobbar mot beställare (se figur 14). Det första steget i processen är egentligen det sista, nämligen slutfas. Där ska syftet med projektet och vilka kriterier som behövs för att uppnå målsättningar definieras. Därefter kommer konceptfasen. Frågor som ska ställas är bland annat vad det viktiga i projektet är, vilket/vilka behov som ska uppnås och hur flexibelt systemet är jämfört med sitt användningsområde. I nästa steg, upphandling, ska företagets projektförslag förhandlas fram och förankras med beställande kund (Sandin, 2019). Upphandling följs av utveckling och tillverkning, där en central fråga är “hur får vi det vi köpt?”. Enligt Malmberg (2019) handlar det bland annat om att följa upp de krav som har ställts på systemet, design av underhållsarbetet samt verifiering av detta. Det fjärde steget i processen är drift och underhåll. Han tog som ett exempel att oavsett om ett tåg är ur funktion eller i drift kostar det pengar. Han underströk att ett felaktigt beslut kan generera (onödiga) samhällskostnader över tid och bör därför tas hänsyn till i ett tidigt projektskede. Till sist är analysen tillbaka på det sista steget, slutfas, och en mer korrekt kostnadsanalys redovisas där tidigare steg inkluderas (Sandin, 2019).



Figur 14: Ett exempel på en modell med fem steg som Systecon utgår från vid genomförandet av en LCC-analys vid anskaffningsprojekt. Utifrån stegen kan det undersökas vad en kund faktiskt efterfrågar vid en upphandling och vad det kommer att kosta för hela systemet. Genom att utvärdera samtliga steg kan en mer korrekt kostnadsanalys redovisas (Sandin, 2019).

3.3.2 Evalueringsmetod

Snarare än att ta fram ett optimalt resultat vid upphandling, arbetar Systecon med att evaluera flera lösningar för att kunna jämföra olika alternativ (Sandin, 2020). I figur 15 visas Systecons principiella synsätt avseende sambandet mellan kostnad och produktionseffektivitet i ett komplext system. Till att börja med ska ett system ha ett bestämt produktionsmål med ett antal kriterier och varor som fraktion. Sandin (2020) tog som exempel att ett systems kapacitet kan vara att ett tåg ska vara i drift under en viss tid på dygnet och i ett visst antal timmar. Med ett system kommer investering och driftkostnader. För att systemet ska fungera optimalt behövs stödfunktioner, vilket genererar en supportsystemkostnad. Stödfunktioner kan enligt Malmberg (2020) vara personal som är tillgänglig hela tiden och inte bara vid underhållsinsatser. Dessa resurser inkluderas i den operativa supporten, alltså den tillgängliga produktionen för systemet. Detta leder fram till att den möjliga produktionen hamnar i mitten, med en totalkostnad på ena sidan och tillgänglig konstruktion på andra, varifrån de bästa alternativen ska hittas. För att kunna jämföra olika alternativ behöver de vara i samma enhet och värdena viktas först i en poängskala och sedan till en monetär enhet. Ett evalueringsproblem kan åskådliggöras i ett diagram, där tillgänglighet spänns upp över y-axeln och kostnad över x-axeln. De bästa alternativen för problemet representeras av de punkter som ligger på kurvan. Sådana alternativ är kostnadseffektiva (pareto-optimala) då de genererar största möjliga nytta till minsta möjliga kostnad (Malmberg, 2020; Sandin, 2020).



Figur 15: I figuren illustreras Systecons principiella synsätt avseende sambandet mellan kostnad och produktionseffektivitet i ett komplext system. Den optimala supporten kommer att balanseras mellan en total kostnad och tillgänglighet (Sandin, 2020).

4. Teoretiskt ramverk

I detta avsnitt kommer först det internationella standardiseringsorganet ISO och det svenska standardiseringsorganet SIS att presenteras (kapitel 4.1). Detta följs av en beskrivning av de två analysmetoderna livscykelanalys (4.2) och livscykelkostnad (kapitel 4.3) varpå tillgänglighet av komplexa system redovisas (4.4). Därefter beskrivs multikriterieanalys (4.5) och social- och samhällelig livscykelanalys (kapitel 4.6).

4.1 ISO-standard

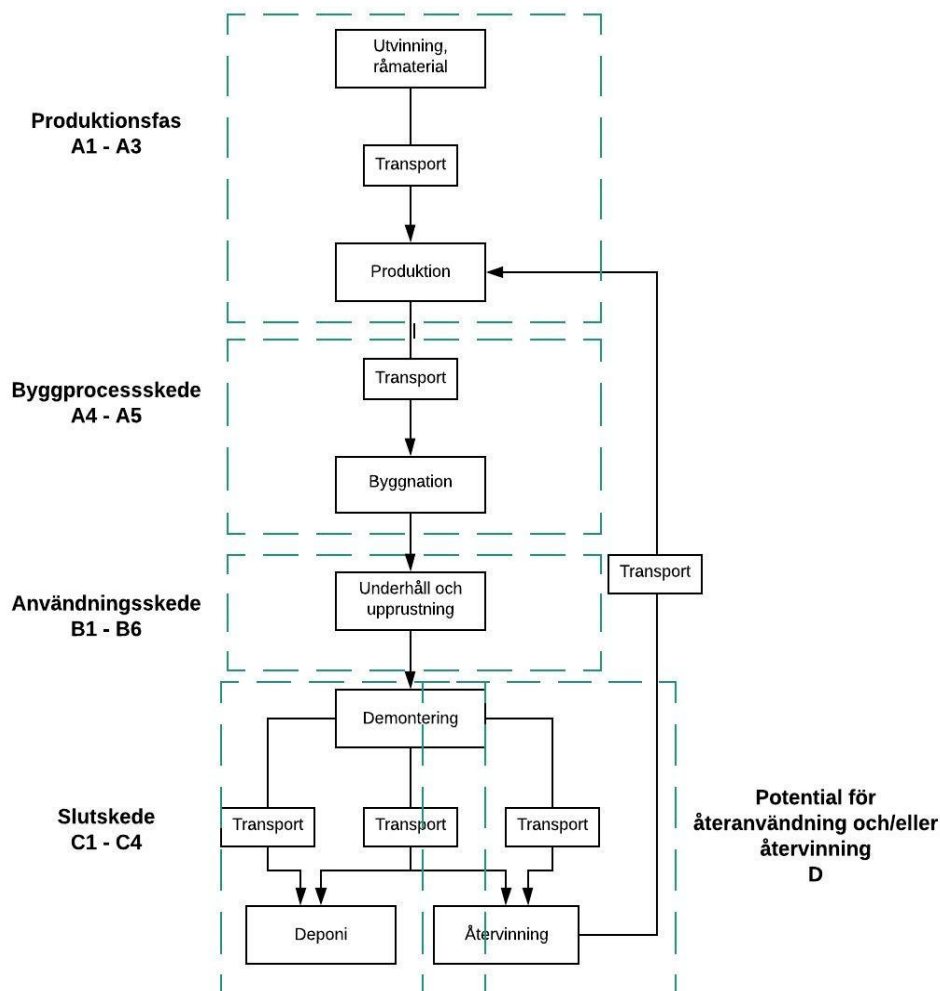
International Organization for Standardization (ISO) är en oberoende, icke-statlig global organisation med flertalet länder världen över som medlemmar. *Svenska Institutet för Standarder* (SIS) är Sveriges nationella standardiseringsorgan som är medlem i ISO och har möjlighet att påverka arbetet i den internationella organisationen, både i utveckling av nya och bearbetningar i befintliga standarder (SIS, u.å a). ISO har som uppgift att skapa nationella standarder vilka ska fungera som tydliga rutiner, bland annat inom tekniska områden. Genom gemensamma rutiner minskar risken för misstolkningar och ökar istället trovärdigheten och möjligheten att utbyta erfarenheter. Tack vare detta är det ett bra redskap vid upphandlingar (SIS, u.å b).

4.2 Livscykelanalys

Livscykelanalys, LCA, är en metod som möjliggör en hållbarhetsanalys på mer komplexa system och är "*the only internationally standardized environmental assessment method*" (Kloepffer, 2008, 90). I en LCA beräknas produkters och tjänsters miljöpåverkan från att de utvinns, produceras, nyttjas och slutligen avvecklas ("från vaggan till graven"), (se figur 16). Utifrån detta kan den totala miljöpåverkan räknas ut, där exempelvis dess koldioxidutsläpp, markpåverkan och toxiska ämnen (Upphandlingsmyndigheten, 2019). Utifrån resultaten kan olika varor och tjänster utvärderas och jämföras i dess miljöpåverkan vilket gör det lättare att ta hållbara beslut eller förbättra olika delar i ett system, när det kommer till miljöpåverkan (Weideman et.al, 2004). År 2006 publicerade ISO två standardiseringar för LCA-metoder: ISO 14040 och ISO 14044. ISO 14040 redogör för obligatoriska principer och strukturer medan ISO 14044 är vägledande rekommendationer (Miljö och utveckling, 2006).

I en LCA ska både en *funktionell enhet* (FU) och *definition av systemgränser* tas med. Funktionell enhet används för att kunna jämföra olika produkter eller system mot varandra under dess livscykel. FU ska kvantifieras och fungera som en referens, vilken all data ska normaliseras mot. Värdet är i princip godtycklig för den funktionella enheten (Carlson och Pålsson, 2011, 59; Consequential-LCA, 2015; Weideman et.al, 2004, 29). I detta arbete har exempelvis två olika typer av banöverbyggnader jämförts och i vilken omfattning de påverkar miljön genom utsläpp av växthusgaser. Den funktionella enheten var att undersöka spåren över en lika lång distans och under en lika lång tidsperiod. Det handlar alltså inte om

produkten i sig utan det utfall dess funktion genererar, dess förbrukningseffekt (Consequential-LCA, 2015; Carlson och Pålsson, 2011, 59). Exempel på funktionell enhet är kostnad (inköp, användning och avveckling), specifika miljöegenskaper, specifika sociala eller samhällseliga egenskaper samt teknikkvalitet (hur enkelt det är att underhålla, hållbarhet, stabilitet osv). Några exempel på systemgränser är geografiskt område, tid, tekniskt system och beställarens önskemål (UNEP/SETAC, 2009, 53).

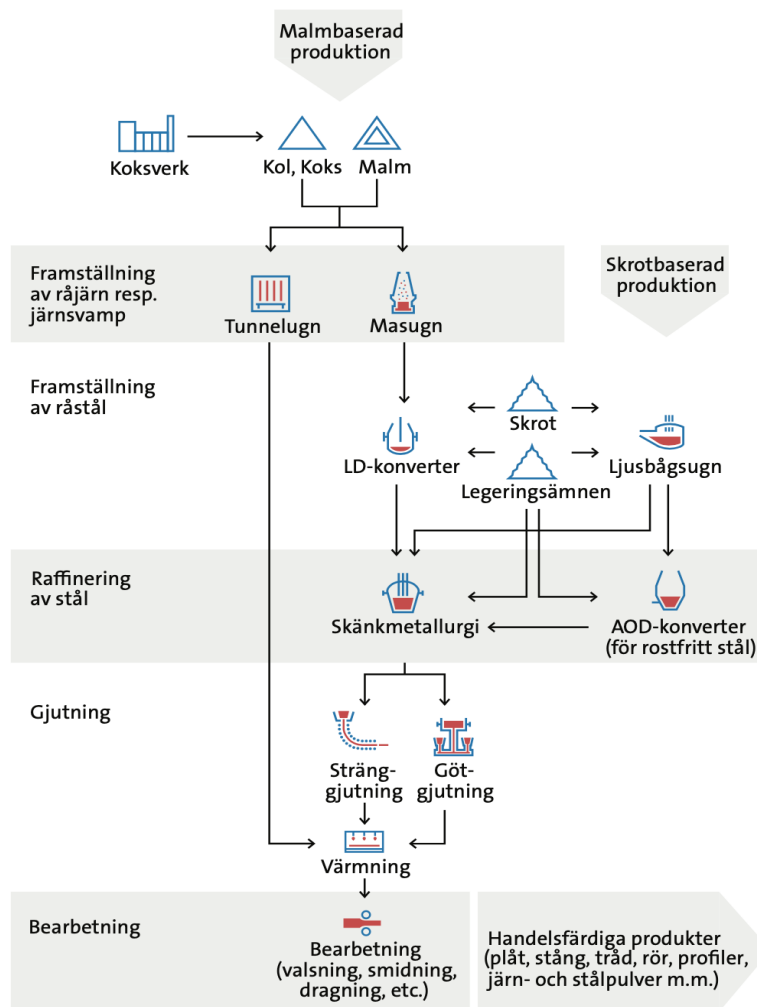


Figur 16: En LCA:s fem faser under en livscykelanalys och hur de benämns (egen figur). I figur 1 sammanställdes de delar av LCA:n som togs med i projektet.

4.2.1 Produktionsfas

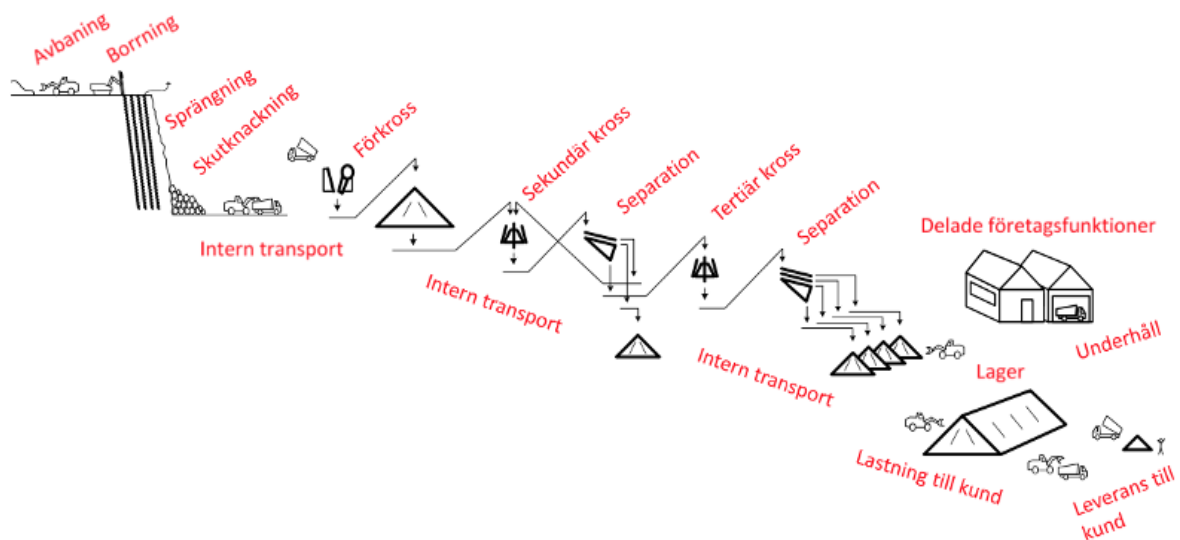
I både ballasterat och fixerat spår ingår räler och armering vilka består av stål som främst innehåller järnmalm och återvunnet metallavfall av järn eller stål (se figur 17). Till att börja med utvinns järnmalm i dagbrott eller gruvor. Efter att stora stenblock har krossats siktas malmen och separeras så att mineralkornen frigörs. Råjärn innehåller runt 3–4,5 procent kol och för att stålet ska vara möjligt att bearbeta får kolhalten inte överstiga två procent av den

totala mängden. Det är därför en viktig process då kolet får reagera med syrgas och bilda koldioxid, antingen i en LD-konverter eller i eldrivna ljusbågsugnar. Kolhalten påverkar också stålets egenskaper där hög kolhalt ger ett starkare och hårdare stål med nackdelen att det blir sprödare. För att stålet ska få önskade egenskaper tillförs legeringar och tillsatsämnen. Efter att legeringar tillförts bearbetas stålet ytterligare och gjuts till rätt form (Hallberg et al., 2019, 14–16, 21; JFE Steel Corporation., u.å., 8–9). Framställning av stål till räler och armeringskomponenter är en energikrävande process som bidrar till stora mängder växthusgasutsläpp. År 2016 stod järn- och stålindustrin för 11 procent av totala utsläppsmängden av koldioxidekvivalenter i Sverige. Vid utvinning av järnmalm används exempelvis främst dieseldrivna maskiner och lastbilar för intern och extern transport. När det gäller framställningen av råstål förbränns koks för att behandla järnmalm till järn vilket också är fallet vid kolreduktionen i LD-konverters. När kolen istället minskas i en ljusbågsugn krävs stora mängder elenergi (Hallberg et al., 2019, 44–45).



Figur 17: Figuren illustrerar framställningen av stålprodukter till bland annat räler, stålförstärkning och armering. Schemat börjar vid framställning av råjärn och slutar när en färdig produkt är klar (Hallberg et al., 2019, 21).

I byggnationen för Ostlänken planeras det för cirka 20 kilometer tunnel där längden på tunnlarna kommer att variera mellan 100 meter till 8 kilometer. För Ostlänken beräknas materialet från tunnlarna att räcka till sträckans banöverbyggnad (Trafikverket, 2019c; ÅF/Tyréns 2019, 16). Vid utvinning av ballast avbanas ("renas") först bergen från jord och annat material. Därefter lossas bergspartier genom borrar och sprängning. Vidare förkrossas materialet och delas därefter i krossmaskin till önskad storlek. Antalet krossteg beror på hur små bitar som önskas. Ballasten siktas (separeras) och tvättas slutligen. Vid ballastutvinning för Ostlänken kommer mobila krossar⁶ att placeras vid tunnelmynningarna för att minska onödiga transportsträckor. Även om mobila krossar används är det oundvikligt att interna transporter sker mellan bergsutvinningen, krossarna och spårläggningen (se figur 18). Inom ballastindustrin drivs både maskiner och transportfordon främst av diesel vilket genererar utsläpp av växthusgaser. Förutom koldioxidutsläpp från de olika framställningsprocesserna går det åt stora mängder el och vatten vid borrar och spolning av krossprodukterna (Assbjörnsson och Hulthén, 2017; Hulthén och Assbjörnsson, 2019).

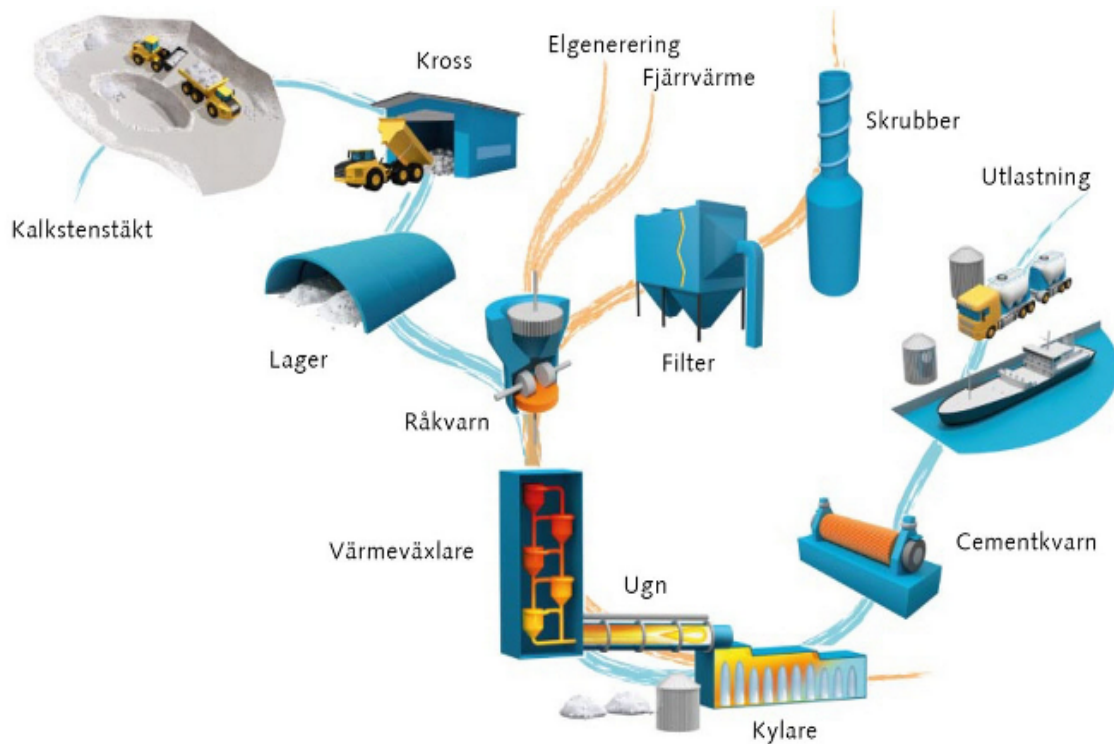


Figur 18: Processen vid utvinning och produktion av ballast kan följas i figuren. Från avbaning till leverans till kund (Assbjörnsson och Hulthén, 2015).

Betong består till stora delar av cement som är den främsta orsaken för koldioxidutsläpp vid betongframställning då det består av kalksten. Kalksten bryts i kalkstenstäckter varifrån de transporteras till en fabrik (se figur 19). Där krossas och mals kalkstenen till ett finare pulver och blandas därefter med kisel. Blandningen torkas i ugnsgaser och det fina pulvret åker vidare till en värmeväxlare där det sker en omvandlingsprocess när koldioxid och kalciumoxid bildas, så kallad förkalcinering. Materialet förs vidare in i en stor ugn och värms upp till temperaturer på 1450°C. Där skapas klinkers som slutligen kyls ner i en kylare och mals till cement (Cementa, u.å.). Under cementproduktionen sker ungefär 60 procent av det totala koldioxidutsläppet vid uppvärmningen av kalk och resten kommer från övriga råvaror, olika

⁶ I Trafikverkets Klimatkalkyl beräknas utsläpp från krossning från mobil kross.

tillverkningsfaser som kräver energi samt interna och externa transporter av råvaror, som oftast sker med dieseldrivna fordon. Vid byggnationen av Ostlänken är det planerat för att mobila betongstationer kommer att finnas på plats för betongproduktion. Det är fortfarande ovisst i vilken omfattning det kommer att användas och hur det kommer att påverka miljön (Svensk betong, 2017, 5; ÅF/Tyréns, 2019, 24).



Figur 19: Framställning av cement, från utvinning i kalkstenstäkt till färdig produkt (Cementa, u.å.).

Neopren® är ett kloroprengummi (CR) och är ett registrerat varumärke som tillhör DuPont Performance Elastomers. Framställningen är komplicerad och genomförs antingen genom den mer vanliga oljeprocessen eller genom kalkstensprocess (Monmouth rubber and plastics corp, u.å.). Den kräver flera olika processer, bland annat med inverkan av kalumpersulfat, metalloxider och saltsyra. Neoprene® är ett vanligt material som mellanplatta mellan sliprar och räls, bland annat för att det är ett slitstarkt material vid exponering av olja, syre, värme och syror (Polymer Properties Database, u.å.).

Polyamid eller nylon (PA) är en plast som framställs genom kemiska reaktioner mellan aminer och syror som hexametyldiamin och adipinsyra (Naturskyddsföreningen. u.å.). För isolatorer i järnvägar används nylon 66 (PA66), vilket är den nylonvariant som klarar högst temperatur och har en hård konsistens. Materialet är dessutom motståndskraftigt mot bland annat oljor, fetter och bensin, vilket gör det till ett bra material i järnvägssektorn (Plast Bearbetning. u.å.).

4.2.2 Byggprocesskede

När ett nytt ballastspår ska byggas transporteras materialet till den nya sträckan med traktorer, såsom dumprar. Först sprids ballasten ut på den nya bananläggningen till en höjd på 30 cm. Därefter placeras sliprarna med rälsbefästningar på makadamen och rälerna ovanpå dessa. Rälerna fäst samman med sliprarna och svetsas ihop i ändarna (Karlsson, 2015, 6). Vidare åker ballasttåg över den nya rälsen och sprider ett 20 centimeter tjockt lager med makadam ovanpå sliprarna. För att spåret ska få rätt riktning och bra stabilitet åker en spårriktare över banan som lyfter betongsliprarna och pressar ihop ballasten under dessa. Efter det att banan har justerats åker en stabilisator över banan som skakar ner ballasten. Det stärker och stabiliserar underlaget samt ser till att det blir en enhetlig passning mellan olika sträckor. Slutligen åker ett tåg som både fungerar som plog och sop och renar banan från överblivet material och för det till ställen på banan där det behöver fyllas på. Samtliga av dessa arbetsinsatser utförs av maskiner som, med vissa undantag, är dieseldrivna (Giunta et.al., 2018; Krezo et al., 2016).

Byggnationen av fixerat spår varierar beroende på vilken typ av spår som ska byggas. Vid byggnation av Rheda 2000® placeras till att börja med de fjädrade plattorna på det förberedda underlaget med hjälp av byggmaskiner. Därefter placeras de förmonterade armeringsstängerna på underlaget vilka fixeras med hjälp av speciella typer av fästen, för att de ska hållas på exakt plats under resten av byggnationen. Rälsen placeras ovanpå sliprarna med en rälsmaskin och banan fylls med betong som antingen sker manuellt med betongskopa och kran eller med betongpump. Därpå används en maskin som formar och plattar till betongen och slutligen tas klämmorna bort (OneRail, 2011). Byggnationen av Bögl skiljer sig från Rheda då spårplattor levereras prefabricerade till byggplatsen. Dessa block placeras ovanpå banunderbyggnaden med hjälp av stora kranar. I banunderbyggnaden är stänger monterade och de färdiga spårplattorna har hål undertill vilka ska passa i stängerna. Då plattorna har justerats med banunderbyggnaden, fästs de samman med varandra. Därefter tätas mellanrummet på plattornas kanter med ett murbruk och speciella hål på spårets ovansida tätas med cement eller bitium. Vidare fylls smala skarvar med murbruk, befästningar skruvas åt och de större skarvarna med murbruk och rälsen. Slutligen monteras, fästs och svetsas rälerna i banan (Esveld, 2001, 251; Bång, 2020). Vid byggnation av BBEST gjuts skalet som ligger kring rälsen och den fjädrade skenan, fast i betongen. Till att börja med har skalet ett lock som liknar ett rälshuvud, som kapas av medan resten av skenan är kvar i betonggrunden. En räl och den fjädrande skenan placeras i skalet och svetsas slutligen ihop. Installationen av BBEST är en relativt simpel process med fördel att arbetet blir lättare då exempelvis tunga skenor inte behöver justeras in eller hållas på plats vid vibrerande betongarbete. Liksom vid byggnation Rheda 2000®, används betongfyllnadsmaskiner, betongformningsmaskiner och rälsmaskin vid byggnation av BBEST (Esveld, 2001, 352–354; Parry, Kiani och Ceney, 2008).

4.2.1 Användningsskede

Track maintenance means the total process of maintenance and renewal required to ensure that the track meets safety and quality standards at minimum cost.

Som Esveld (2001, 349) framhåller i ovanstående citat, är det främsta syftet med underhåll och förnyelse av banöverbyggnader att upprätthålla en hög säkerhet. Underhållen delas in i tre undergrupper: planerat underhåll (reinvestering), förebyggande underhåll, felavhjälpande underhåll. Reinvestering och förebyggande underhåll planeras in regelbundet för att minska risken att fel uppkommer på järnvägen. De planeras in efter en viss tid, med avseende på ålder eller mängd passerande tågtrafik. Det kan också uppstå oförutsedda händelser som kräver extra insatser för att det snabbt ska åtgärdas, vilket kallas felavhjälpning (Edvardsson och Hedström, 2015, 41; Strippel och Uppenbergs, 2010, 32).

Räler undersöks med fördel varje eller vartannat år och då kontrolleras bland annat om det finns sprickor i rälerarna vilka måste slipas bort eftersom det annars finns en risk att rälsbrott uppstår (Trafikverket, 2013). Genom att slipa rälerarna med jämna mellanrum kan livslängden öka då risken för deformation av stålen och sidoslitage minskar (Kirilmaz, 2020). Rälerarna kan också fräsas med jämna mellanrum och smörjas på extra utsatta partier för att upprätthålla bra kvalitet. Då en del av en räl har skadats och behöver bytas kan den utsatta delen skäras ut och ersätts med en ny bit som termitsvetsas ihop med resten av spåret (Edvardsson och Hedström, 2015, 41; Karlsson, 2015, 8; Strippel och Uppenbergs, 2010, 32).

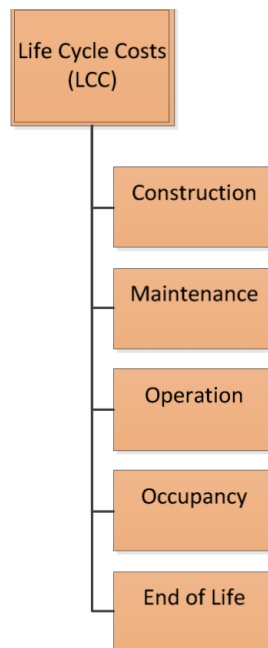
Ballastspårbädden har en livstid på ungefär 40 år. Spårriktning är ett mindre underhåll som genomförs för att ballastbanan ska bibehålla spårgeometrin. En spårriktningsmaskin lyfter upp sliparna för att pressa ihop ballasten där under och vidare sopar en spårplog bort ballasten från spåret och fyller på material i utrymmen som behöver täckas. En stabiliserare åker slutligen för att se till att spåret är tillräckligt packat (Bressi et al., 2018). Mindre underhåll innebär också att bekämpa växtlighet på banan. Vid större delen av järnvägsnäten i Sverige är kemisk växtbekämpning tillåten att använda och kommer att vara en strategi för Ostlänken. Förebyggande åtgärder mot vegetation kan även vara att göra ett bra grundarbete som försvårar för ogräset att slå rot eller att plantera vissa växtsorter som konkurrerar med den oönskade växtligheten (Edvardsson och Hedström, 2015, 42; Hansson, Mattsson och Schroeder, 1995, 12). Vid större underhåll genomförs spårbyten som bland annat innefattar förnyelse av material och rengöring av ballasten. Först arbetar en spårbytesmaskin som både tar bort gamla räler och sliprar och lägger dit nya delar. Parallellt med spårbyteståget jobbar maskiner som tar hand om de gamla komponenterna och tillför nya. Eftersom ballasten nöts ner till för små partiklar, behöver den rengöras. Då tas ungefär 30% av det övre lagret av ballasten bort, siktas och de tillräckligt stora bitarna återförs till banan (Esveld, 2001, 377, 396). Därefter är processen densamma som vid byggnation av ballastbanöverbyggnaden (Krezo et al., 2018).

Som tidigare nämnts är fixerat spår en relativt ny teknik inom järnvägssektorn och det finns begränsat med data för hur lång livstid ett system har. Det finns uppskattningar och beräkningar på ett spann mellan 60 till 120 år. Den långa livstiden och det mindre underhållsbehovet beror främst på att fixerat spår inte tappar spårgeometrin som ballastspår gör. Oftast är underhållet begränsat till spårslipning för att hålla rälerna intakta (Esveld, 2001, 232; Giunta och Praticò, 2017). Fixerat spår har, jämfört med ballasterat spår, mindre möjligheter att justeras efter att spåret är lagt och rälsen har fästs. Under livstiden för ett fixerat spår är det naturligt att sprickor uppstår i betongen. De kittas igen så att de inte blir för stora och skadar hela banan. Skulle däremot spåret utsättas för sättning är det problematiskt med de mindre justeringsmöjligheterna. Sättningar kan exempelvis skapa stora sprickor i betongen som leder till dyra och omständliga renoveringar. Vill det sig illa behöver spåret rivas och byggas upp på nytt, vilket är ett tidskrävande arbete som ger stora störningar i tågtrafiken. Detsamma gäller om banöverbyggnaden av någon annan anledning går sönder, exempelvis på grund av dåligt byggmaterial från konstruktionen, miljöpåverkan eller urspårning (Andersson, Berg och Stichel, 2016, 12–13, 36; Bång, 2020; Kirilmaz, 2020).

4.3 Livscykelkostnad

Livscykelkostnad, LCC, är en ekonomisk modell som används till att sammanställa kostnader för ett komplext system över hela dess livscykel. Detta inkluderar kostnader för designutveckling, investering, produktion, tiden då systemet är aktivt och har driftskostnader och kräver reinvesteringar samt för avveckling av systemet (se figur 20). Genom analysmetoden kan den optimala balansen mellan kapacitet, kostnad och systemets anpassbarhet hittas (Systecon, u.å. c). Syftet med analysen är alltså att undersöka ett systems lägsta möjliga kostnad för att upprätthålla ett system som är enkelt att utveckla, använda och underhålla. Från detta är det en bra metod för att evaluera olika lösningar under hela livscykeln. Det är exempelvis inte nödvändigtvis den komponent med lägst inköpspris som har lägst kostnad i slutändan. En billigare komponent skulle exempelvis kunna ha en sämre kvalitet och behöva kostnadskrävande underhåll mer frekvent. Detta är något som kan uppmärksammas i en LCC så att väl avvägda beslut kan tas (Sandin och Persson, 1988, 5; Tzanakakis, 2013, 257).

LCC används allt mer inom fordonssektorn och vid upphandlingar inom järnvägssektorn. LCC underlättar inte bara beslutsfattande vid upphandlingsfas utan gör det också lättare att stämma av hur drift- och underhållsfasen överensstämmer med de önskade målen under systemets livstid (Fourie & Tendayi, 2016). ISO publicerade år 2017 ISO 15686–5:2017, vilket är anvisningar och krav för standardisering av livscykelkostnader. Detta ska skapa en standardisering för vad en LCC ska innebära och hur det ska utföras (ISO, 2017).



Figur 20: I figuren visas fem övergripande steg för LCC: konstruktion, underhåll, drift, verksamhet och supportkostnader och slutligen kostnad för systemavveckling. Ett steg som inte framkommer i figuren är forskning, utveckling och designkostnader som blir det primära steget innan konstruktionen genomförs (Tzanakakis, 2013, 305).

Ett viktig förhållande som måste tas hänsyn till vid LCC beräkningar vid investeringar i komplexa system, är att valutavärden varierar över tid. Tio kronor kommer exempelvis att vara värda mindre om hundra år än vad de är värda idag. På samma sätt var tio kronor värda mer för hundra år sedan jämfört med nu. För att få en korrekt bild av ett systems totala kostnad måste därmed framtida kostnader sättas i relation till vad pengarna är värda idag (Persson, 2020). En metod som Trafikverket använder i sina investeringskalkyler är *nuvärdesmetod*⁷, också kallat diskonteringsmetod eller kassaflödesmetod (Trafikverket, 2018a). För att kunna genomföra beräkningar av ett systems livstid ska kalkylränta inkluderas, i relation till ett systems livslängd. Genom nuvärdesmetoden diskonteras framtida kostnader med en kalkylränta, till dagens pengavärde (nuvärde). Då det tillkommer ränta på pengar, vilket ger en avkastning, kan det vara ekonomiskt lönsamt att investera pengarna och inte betala hela investeringskostnaden direkt. För att slutligen få den totala investeringskostnaden summeras samtliga år. Kostnadskalkyler kan redovisas som nominell och real kostnad. En av de främsta skillnaderna mellan dem är att inflation tas hänsyn till i beräkning av nominell kostnad medan det bortses från i de reella kostnadsberäkningarna. I den nominella kostnaden undersöks det hur mycket en kostnad kommer att vara i framtiden medan en reell kostnad räknas om till dagens penningvärde för hela systemet (Persson, 2020).

⁷ På engelska Net Present Value (NPV)

4.3.1 Kostnadsbedömning av Ostlänken

I regeringens direktiv till nationell plan anges att Trafikverket ska säkerställa att utbyggnaden av nya stambanor för höghastighetsbanor sker på ett kostnadseffektivt sätt som innebär att bästa möjliga effekt erhålls av respektive delsträcka (Trafikverket, 2017a).

I citatet ovan framkommer det tydligt att Trafikverket ska jobba för att optimera nyttan av en ny stambana till minsta möjliga kostnad. I Trafikverkets bedömning kommer anläggningskostnaden för Ostlänken att landa på runt 54 miljarder kronor. Den planerade stambanan kommer att ha en investeringskostnad på runt 230 miljarder kronor för ett fixerat spår med en hastighet på 320 km/h och runt 205 miljarder kronor för ballasterat spår med hastigheten på 250 km/h. Detta med ett osäkerhetsintervall på 30 procent. En anledning till ökad kostnad för högre hastighet är att det ställs högre krav på järnvägens konstruktion. Den främsta kostnadshöjande faktorn är underhållsåtgärder (Bång, 2020; Trafikverket, 2017a; Trafikverket, 2018a).

Kostnaderna skiljer sig beroende på vilken typ av spår som väljs. Ballasterat spår är billigare i ett investeringsskede, jämfört med fixerat spår, men kan bli dyrare i längden då spårtypen kräver mer underhåll. Två anledningar till att fixerat spår är dyrare i ett första skede är för att det krävs ett extra grundligt markarbete och mer förebyggande åtgärder på grund av högre bullernivå. Trots att den initiala kostnaden för ballasterat spår är mycket lägre, har flera studier, bland annat från Trafikverket, visat på att fixerat spår kan bli billigare redan efter 20 till 30 år (Bång, 2020; Trafikverket, 2018a). Bång (2020) menar att det finns stora underhållsbehov på Sveriges järnvägar idag. Ett problem är att underhållet har varit bristfälligt från början där spårriktning inte har genomförts kontinuerligt, främst på grund av ekonomin. Det här ger upphov till spårslägesproblem och det inte ovanligt att vissa områden behöver spårriktas flera gånger under ett år. Kostnaderna för felavhjälpning blir onödigt höga och leder till minskad kapacitet i spårtrafiken med förseningar och ytterligare kostnader som följd.

4.4 Tillgänglighet av tekniska system

Trafikverkets vision bygger på de transportpolitiska målen och hur transportsystemet kan bidra till långsiktig hållbarhet i alla delar, socialt, ekologiskt och ekonomiskt. En god tillgänglighet är nödvändig för att ett samhälle ska fungera, därför har vi ett ansvar att utveckla tillgängligheten på ett hållbart sätt (Trafikverket, 2018b).

I citatet belyser Trafikverket vikten av att tillgängligheten ska fungera för att transportsektorn ska kunna nå de miljöpolitiska målen. Driftsäkerhet för komplexa, tekniska system innebär att det ska upprätthållas en bra *tillförlitlighet, tillgänglighet, underhållsarbete* samt *säkerhet*,

förkortas som *RAMS*⁸. RAMS är fastställd enligt europeisk standard⁹ och ska påvisa huruvida ett system fungerar som bestämt eller behöver justeras. Tillgänglighet är ett av måtten på hur driftsäkert ett system är och beror på hur ofta fel uppstår (felfrekvens) och hur lång tid det tar för operatörer att infinna sig på plats och åtgärda felet (Fourie och Tendayi, 2016; Rauma, 2020). I komplexa system är det vanligt att kriteriet definieras utifrån vad tillgängligheten ska uppnå. Tekniska komponenter med sämre kvalitet kan ha en högre felfrekvens och eftersom det tillkommer en inställelsetid och reparationstid för felet, påverkar det tillgängligheten. Den maximala tillgängligheten man kan få för en specifik kostnad är en växande funktion av kostnaderna (Malmberg, 2016, 56–57). Det är önskvärt med hög tillgänglighet, då ett komplext system som en järnväg kan få stora ekonomiska och samhällseliga konsekvenser om tillgängligheten är låg. Skulle exempelvis en komponent ha hög felfrekvens och behöva underhåll och reparation ofta, kräver det att vissa delar av järnvägen stängs av. Tågtrafiken får en begränsad framfart som bland annat kan leda till förseningar och/eller inställda tåg (Bång, 2020). Trafikverket definierar deras vision om hållbarhet på följande sätt:

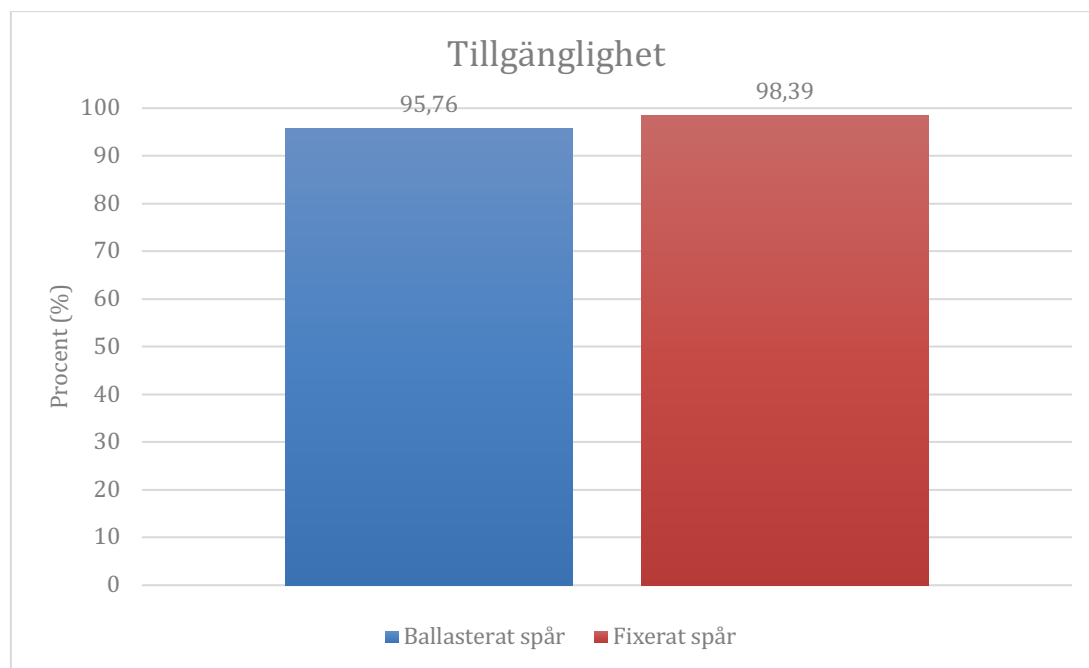
4.4.1 Tillgänglighet av Ostlänken

Ostlänken kommer, som tidigare nämnts, att byggas som dubbelspår. Förutom att öka frekvensen av tågtrafik, är dubbelspår en strategi för att öka tillgängligheten av järnvägen som system. Skulle exempelvis ett av spåren vara ur funktion, kan det andra spåret fortfarande vara öppet för trafik (Rauma, 2020). För Ostlänken kommer spåret att vara tillgängligt för drift 18 timmar per dygn med ett servicefönster på 6 timmar per dygn under natten. Under servicefönstret ska mindre underhåll kunna genomföras och på så sätt minska risken för avbrott under drift (Andersson, Berg och Stichel, 2016; Kirilmaz, 2020).

Tillgängligheten för en framtida stambana kan variera beroende på val av spårtyp. Giunta och Praticó (2017) kommer i sin studie fram till att eftersom fixerat spår kräver mindre underhåll, leder det till mindre störningar i tågtrafiken vilket i sin tur ger bättre tillgänglighet. I en utredning av Trafikverket (2020) och Systecon, beräknades tillgängligheten av ballasterat och fixerat spår i tunnlar i Ostlänken. Spåren undersöktes över en livstid på 120 år och i utredningen framkom det att medan ballasterat spår beräknas att ha en genomsnittlig tillgänglighet på 95,8 procent beräknas fixerat spårs tillgänglighet vara 98,4 procent (se figur 21). De faktorer som kommer att påverka tillgängligheten i störst utsträckning är återkommande manuella besiktningar samt åtgärder för besiktningsanmärkningar. Skillnaden på 2,6 procentenheter kan uppfattas som liten, är det en signifikant skillnad räknat över en period på 120 år. Detta kan bli tydligare om skillnaden i otillgänglighet jämförs i relation till varandra. Att gå från 95,8 procent till 98,4 procent i tillgänglighet innebär att otillgängligheten går från 4,2 procent till 1,6 procent. Tiden som det fixerade spårssystemet är otillgängligt är alltså bara ungefär en tredje del jämfört med ballast (Kirilmaz, 2020; Malmberg, 2020; Trafikverket, 2020).

⁸ På engelska Reliability, Availability, Maintainability och Safety

⁹ Gäller enligt den europeiska standarden EN 50126–1:1999, vilken är specificerad för järnvägssektorn



Figur 21: I figuren kan den beräknade tillgängligheten av ballasterat och fixerat spår i tunnlar i Ostlänken utläsas. Den undersökta tidsperioden var 120 år (Trafikverket, 2020).

4.5 Multikriterieanalys

Multikriterieanalys, MKA¹⁰, är en utvärderingsmetod där fler än två kriterier jämförs mot varandra. Olika kriterier har oftast olika enheter (kostnad har valuta, driftsäkerhet har timmar per år osv) och för att olika kriterier ska kunna vägas samman "översätts" de till monetär eller icke-monetär form. Vid en icke-monetär modell poängsätts de olika kriterierna där poängen beror på de förväntade konsekvenserna. Den vanligaste värdeskalen är mellan 0–100 där 0 är det minst önskvärda alternativet och 100 det mest önskvärda alternativet. Varje kriterium viktas och därefter sammanställs de i en gemensam bedömning. MKA är ett särskilt bra verktyg för beslutsfattande organ som ska ta hänsyn till flera olika kriterier i komplexa system. Kriterierna kan exempelvis vara att det finns en satt budget som kostnader måste hållas inom eller att en viss procent tillgänglighet ska upprätthållas i ett system. Analysmetoden syftar inte huvudsakligen till att få fram ett optimalt alternativ utan snarare flera alternativ som kan vägas mot varandra. Många gånger kan exempelvis dyrare alternativ, som annars hade förkastats, vara mer fördelaktiga i ett längre perspektiv när fler parametrar tas med i evalueringen (Dodgson et al., 2009, 22, 46). I stora infrastrukturprojekt finns många kriterier att ta hänsyn till vid beslutsfattande. Inom järnvägen är några av dessa kriterier kostnader, klimatpåverkan, tillgänglighet, tekniska aspekter, bullernivå och estetik. I upphandlingar i branschen används multikriterieanalys till en viss del, men många aspekter hanteras genom tvingande krav och miniminivåer. Exempelvis kan krav ställas på en maximal bullernivå eller att drivmedel ska uppfylla en viss standard (Sandin, 2020; Malmberg, 2020).

¹⁰ På engelska Multi-Criteria Analysis

5. Metod

I den här delen av rapporten beskrivs de tillvägagångssätt som har använts i arbetet. Fallstudie som forskningsmetod valdes som utgångspunkt i arbetet. I kapitel 5.1 redogörs för hur fallstudien har genomförts och vad som studerats. Vidare beskrivs metoder som använts för datainsamling (se kapitel 5.2) såsom litteraturstudie (kapitel 5.2.1), intervjuer (se kapitel 5.2.2), miljövarudeklaration EPD[®] (se kapitel 5.2.3) och Trafikverkets klimatmodell – Klimatkalkyl (5.2.4). Fortsatt redogörs det för hur beräkningar av data kapitel 5.3) och evalueringsmodellen (se kapitel 5.4) skedde. Slutligen problematiseras de använda metoderna av datainsamlingen i en källkritik (se kapitel 5.5).

5.1 Fallstudie som forskningsstrategi

Fallstudie är en metod inom forskning som möjliggör att ett eller ett fåtal verkliga fall analyseras mer djupgående. Metoden var lämplig i arbetet då det möjliggjorde för att studera komplexa problemformuleringar i det pågående projektet Ostlänken. På så sätt kunde en mer generell och meningsfull förståelse skapas för stora infrastrukturprojekt av järnvägar. Datainsamlingen för fallstudier byggs ofta på ostrukturerade eller semistrukturerade intervjuer och observationer vilket var en av metoderna i detta arbete (Jensen och Sandström, 2016, 37, 42–43).

För att en fallstudie ska få så bra utfall som möjligt är det viktigt med bra förberedelser. Det kan bland annat handla om att välja vilken eller vilka metod/metoder som ska användas för datainsamling och hur den/de ska genomföras. Det är också viktigt att tydligt definiera vad som ska undersökas och begränsa den planerade fallstudien. Begränsningar kan exempelvis vara tidsramen för arbetet, omfånget av materialinsamlingen eller hur insamlade data ska bearbetas. Risken är annars att arbetet blir ohanterligt stort eller tappar sitt syfte (Jensen och Sandström, 2016, 54–55). Det här arbetet har begränsats till Ostlänken som är den första delen av den planerade stambanan. Arbetet har utförts på begäran av Systecon, som är aktiva i anskaffningsprojektet. För en övergripande fallstudie är ett alternativ att titta på en mer generell metod för hur en utvärderingsmodell kan utformas. Systecon arbetar med LCC och tillgänglighet och ett kriterium i detta arbete var att undersöka hur det kan sammanvägas med klimatpåverkan i icke-monetära utvärderingskriterier i en utvärderingsmodell.

5.2 Materialinsamling

Till att börja med genomfördes en litteraturstudie och därefter ostrukturerade och semistrukturerade intervjuer för att komplettera litteraturstudien. Flera forskningsartiklar och utredningar av Ostlänken och den planerade stambanan studerades för att erhålla data av växthusgaser, ekonomiska kostnader och systemets tillgänglighet. Detta har kompletterats med data för emissionsfaktorer från miljövarudeklarationer och från Trafikverkets modell Klimatkalkyl.

5.2.1 Litteraturstudie

Inledningsvis genomfördes en litteraturstudie för att erhålla kunskap om centrala begrepp och teorier i det aktuella ämnet. Litteraturstudien var viktig för att förvärva kunskap om hur olika typer av järnvägar är konstruerade, vilka material som används i spåren och hur dess utvinning går till. Det var också viktigt för att förstå hur byggnation av järnvägarna genomförs och vilken typ av underhåll som krävs. Litteraturstudien var även väsentlig och en särskilt viktig källa för att säkerställa att det inte redan utförts allt för lika fallstudier i det tänkta ämnet (Jensen och Sandström, 2016, 53). I detta arbete har forskningsartiklar hämtats från det *Digitala Vetenskapliga Arkivet*, DiVA som finns tillgänglig via Uppsala universitetsbibliotek. Webbssidor har använts för att hämta ytterligare information och en särskilt viktig sida var den officiella hemsidan för det internationella EPD-systemet. På sidan förtydligades viktiga begrepp och genomförda EPD:er inom järnvägssektorn fanns att hämta. EPD:erna bestod både av utredningar av separata komponenter och hela järnvägssystem. Då det ofta uppkom nya begrepp och teorier pågick litteraturstudien löpande under arbetets gång. Trafikverket är projektansvarig för Ostlänken, varför flertalet plandokument och målbeskrivningar som har utförts av myndigheten, har gått igenom. Det var ett viktigt steg, både för att förstå varför Ostlänken behövs, syftet med projekten, tids- och utförandeplaner samt studier av klimatpåverkan och kostnader för systemet.

5.2.2 Intervjuer

Intervju som metod var en viktig metod i arbetet, främst för att få en förståelse av de olika aktörerna som företag och deras arbetsmetoder. Fördelen med intervjuer är att respondenten ges tillfälle att uttrycka egna kunskaper och åsikter (Johansson, 2018, 114; Trost, 2010, 44). Intervjuer har genomförts med personer som arbetar inom det undersökta området (se tabell 2). Intervju är en kvalitativ metod vilken kan delas upp i *strukturerad*, *semistrukturerad* och *ostrukturerad* form. I detta arbete har sju semistrukturerade och fem ostrukturerade intervjuer genomförts. Den främsta skillnaden mellan intervjumetoderna är hur öppna intervjufrågorna är och hur mycket utsvävningar som tillåts under intervjun.

Strukturerad intervju ska utgå ifrån en tydlig intervjuplan där frågorna följer en bestämd ordning och där respondenten förväntas ge mer raka svar. Semistrukturerad intervju har något

mer öppna frågor. Under intervjun tillåts en del utsvävningar men den är fortfarande bunden till intervjuplanen. Det här ökar flexibiliteten och kan bidra till intressanta nyanser som annars hade uteblivit (Trost, 2010, 42). Ostrukturerade intervjuer är den form som har mest öppna intervjufrågor. De förberedda intervjufrågorna kan kringgå och temat på intervjun kan vara brett och ta oväntade vändningar. Det är dock viktigt att ha en uppfattning om vad intervjun ska behandla och att inte helt avvika från temat. Fördelen med denna intervjumetod är att respondenten fritt kan berätta om exempelvis företagsstrukturen, arbetssätt, arbetsmetoder och samarbete med andra aktörer. Det kan ge input som annars hade uteblivit. Inför varje intervju förbereddes intervjuguider som användes vid intervjutillfällena (se appendix A). Vid slutet av varje intervju kontrollerades att svaren från intervjun hade förståtts rätt och inte misstolkats. Respondenterna erbjöds att lägga till relevanta fakta om de upplevde att det inte tagits upp under mötet. Några intervjuer med medarbetare på Systecon har skett på kontoren belägna i Malmö och Stockholm. Många intervjuer genomfördes däremot, på grund av rådande coronapandemi, via telefon, Skype och Zoom. Då det i efterhand upptäcktes luckor i genomförd intervju, kompletterades det med e-post. E-post kan vara en bra metod att göra en uppföljning av utförda intervjuer samt är kostnadseffektivt (Alvesson, 2011, 16–17).

Intervjuerna har genomförts både i enskilt samtal med en respondent och i grupp om två. *Gruppintervju* innebär att två eller fler respondenter intervjuas vid samma tillfälle. En form av detta är *fokusgruppsintervju*. Metoden ger intervjuaren tillfälle att observera och lyssna till ett samtal mellan respondenter men har samtidigt ett ansvar i att styra samtalet i rätt riktning så att det inte svävar ut för mycket från det studerade ämnet (Trost, 2010, 44–45). Urval av fokusgrupp skedde först och främst utifrån vilka respondenter som hade expertisen inom området som undersöktes och sedan vilka respondenter som kunde avvara tid samt var intresserade av att medverka. I fokusgruppsintervjuerna var inte antalet medverkande avgörande utan vilka respondenter som medverkade. Urval av vilka respondenter som medverkar är viktigt i denna typ av intervjuform framför antalet respondenter (Johansson, 2018, 109). Intervju genom fokusgrupp har varit värdefull i studien då medarbetare har kunnat ge varandra stöd och fyllt i kunskapsluckor eller påmint varandra om viktiga aspekter. Det har också varit givande då respondenterna har kunnat förklarat olika begrepp på varierande sätt och med varierande ordval för att skapa en lättare förståelse för ämnet. Några faktorer som dock ska tas i beaktande vid intervju av fokusgrupp är att respondenter kan hämmas av att det är fler personer som medverkar och avstå från att yttra sig med risk att säga något felaktigt och/eller känna sig ointelligent. Vidare kan respondenter i en fokusgruppsintervju färgas av varandra och ändra åsikt för att det ska passa gruppen (Trost, 2010, 45).

Intervjuerna spelades in under samtalen och efter varje intervju sammanställdes det insamlade materialet och transkriberades för att det skulle bli lättare att analysera svaren. Då frågor inte fått fullständiga svar eller fallit bort under intervjun, kompletterades detta med frågor via e-post till respondenten.

Tabell 2: I tabellen listas de elva respondenter som har intervjuats, deras arbetsplats samt befattning.

Respondent	Arbetsgivare	Befattning
Elias Kirilmaz	Systecon	Konsult, med expertområde på driftsäkerhet och LCC
Filip Malmberg	Systecon, Lunds universitet	Konsult med expertområde inom LCM i upphandlingar och modellering samt doktorand inom produktionsekonomi vid Lunds tekniska högskola
Filippa Backlund	Tyréns	Utredare inom järnväg
Klas Persson	Forsmarks kraftgrupp, Vattenfall	Anläggningsutvecklingsingenjör
Martin Ström	Tyréns	Analytiker
Matias Rauma	Systecon	Konsult med expertområde inom modellering, simulering, systemutveckling samt verifiering
Patricia Heller	Tyréns	Konsult med expertområde inom LCA
Poul Harryson	Tyréns	Uppdragschef för sträckan Södertälje – Trosa i projekt Ostlänken
Pär Sandin	Systecon	Konsult med expertområde inom LCM och LCC-upphandling
Rebecka Wennerstål	Systecon	Konsult med expertområden inom LCM
Roland Bång	Infranord AB	Teknik och metodansvarig

5.2.3 Miljövarudeklaration

Förutom data från vetenskapliga artiklar och intervjuer har det inhämtats från data från miljövarudeklarationer. *Miljövarudeklaration*¹¹ (EPD®), är en mall som är framtagen och tillhandahålls av svenska EPD® International AB. Syftet med EPD® är att den totala miljöinformationen för en produkt eller tjänst ska redovisas på ett tydligt sätt. Olika miljöpåverkansfaktorer redovisas som exempelvis koldioxidekvivalenter (CO_{2e}), energianvändning, ozonbildning, övergödning eller försurning. *International EPD® System* är ett internationellt program för miljövarudeklarationer och baseras på standardiseringsprogrammen ISO 14040 och ISO 14044 (kapitel 4.1.1). Miljövarudeklarationer är särskilt viktiga vid upphandlingar då den totala miljöpåverkan blir transparent och beställaren lättare kan jämföra olika alternativ och/eller ställa krav på produkten eller systemet (The International EPD® System). Genom att läsa EPD®:er för olika komponenter i ballasterat och ballastfritt spår har värden för utsläpp av koldioxidekvivalenter kunnat erhållas. Ofta redovisas endast det slutliga utsläppsvärdet och inte utsläppen under varje processteg. Därför har den erhållna informationen jämförts och kompletterats med värden från vetenskapliga artiklar och Klimatkalkyl.

5.2.4 Klimatkalkyl

Trafikverkets klimatmodell Klimatkalkyl är en offentlig sida där data och beräkningar av energiåtgång och koldioxidutsläpp finns för både enskilda komponenter och större insatser. Från Klimatkalkyl kunde bland annat koldioxidberäkningar för byggnation av ballasterat och fixerat spår hämtas. Datan hämtades från Klimatkalkyl version 6.1. Uträkningarna för fixerat spår i Klimatkalkyl är en generell utredning och inte specificerat till någon särskilt typ av fixerat spår. Från Klimatkalkyl kunde data erhållas, men då det saknades värden för bland annat utvinning av ballast samt mer utförliga beskrivningar i olika bygg och underhållsprocesser, kunde endast vissa delar av datainsamlingen inhämtas från programmet. Övriga data inhämtades från EPD®:er och övriga forskningsartiklar.

¹¹ På engelska kallat Environmental Product Declaration

5.3 Beräkningar

5.3.1 Beräkning av mängd koldioxidekvivalenter enligt ISO-standard

Utsläppsmängden av koldioxidekvivalenter för de två olika spårtyperna beräknades med LCA-metodik. I enlighet med ISO 14040 och ISO 14044, har fyra steg efterföljts:

- 1) Syfte och genomförande: Till att börja med har syfte och bakgrund för studien beskrivits. Vidare har (modellerings)metod, *funktionell enhet* (FU) och *systemgränser* definierats.
- 2) *Livscykelinventering (LCI¹²)*: Samtliga komponenter och deras utnyttjande av miljöresurser ska redogöras för varan eller tjänsten. Det här benämns som *elementärt flöde* vilket beskriver sambandet mellan naturresurser som tas i anspråk och vad som kommer tillbaka. Exempelvis utvinns betong för båda spårtyperna och tillbaka flödar växthusgaser. Det elementära flödet omvandlas till en funktionsenhet (FU) som ska ha definierats i steg 1.
- 3) *Konsekvensbedömning av livscykeln eller miljöpåverkansanalys (LCIA¹³)*. Omfattningen och signifikansen av miljöpåverkan av livscykelinventeringen, från steg 2, utvärderas. Det här sker genom att resultaten från inventeringen delas upp i olika miljöpåverkanskategorier. I LCIA:n ska ett antal obligatoriska delar redovisas; vilka miljöpåverkanskategorier som gjorts, kategoriindikatorer och karakteriseringsmodell. Exempelvis har växthuseffekt använts som miljöpåverkanskategori och koldioxidekvivalent som kategoriindikator i det här arbete. Vidare ska klassificering och karakterisering redovisas där resultatet av livscykelinventeringen och beräkningarna för de olika kategoriindikatorerna innefattas.
- 4) Tolka och utvärdera resultatet: Det sista steget i LCA-beräkningar är att tolka och utvärdera resultatet från steg 2 och 3 mot syftet som definierats i steg 1. En känslighetsanalys ska också genomföras av resultaten, för att nå en slutsats och rekommendationer till beställaren.

(UNEP/SETAC, 2009, 34)

I LCA-beräkningarna undersöktes tre olika fall för fixerat spår. Detta då livstiden varierade väldigt mycket beroende på källa. Det första fallet var en best-case scenario då livstiden antogs vara 120 år som Parry, Kiani och Ceney (2008) räknar på. För de andra två fallen användes den kortaste livstiden som påträffades, vilket var 60 år. Beroende på vilken typ av fixerat spår varierar det också med hur stor del av spåret som behöver bytas ut. Medan helgjutet spår är mer omständligt att förnya i delar, kan prefabricerat spår bytas ut i separata stycken (Bång, 2020). Därför jämfördes en materialförnyelse av betong och armeringsstål

¹² På engelska Life Cycle Inventory

¹³ På engelska Life Cycle Impact Assessment

mellan att 100 procent som ett worst-case scenario och att 50 procent av materialet förnyades, med en spårlivslängd på 60 år. Livstiden för ballasterat spår varierade mellan 20–40 år och sattes slutligen till 30 år. Ekvationerna som används i LCA-beräkningarna hämtades från Krezo et al. (2016).

Till att börja med beräknades koldioxidutsläppen för utvinning och produktion av materialen enligt ekvation 1.

$$E_{CO_2\ e-p} = \sum_{k=1}^N F_k QM_k l \quad (1)$$

- $E_{CO_2\ e-p}$: Det totala utsläppet av CO₂ e från produktion [kg CO₂ e]
 N : Det totala antalet komponenter som producerats för en spårkonstruktion
 F_k : Emissionsfaktor för komponent k [kg CO₂ e/kg]
 QM_k : Mängden material av komponent k som behövs per längdenhet [kg/km]
 l : Längdenhet [km]

Vid konstruktionsarbetet arbetar olika maskiner vilka drivs på diesel MK1. I ekvation 2 visas relationen mellan utsläpp av koldioxidekvivalent och bränsleförbrukning av diesel MK1.

$$E_{CO_2\ e-k} = Q_{diesel} C_{diesel} F_{diesel} \quad (2)$$

- $E_{CO_2\ e-k}$: Det totala utsläppet av CO₂ e från arbetsmaskinerna vid konstruktion [kg CO₂ e]
 Q_{diesel} : Mängden diesel som förbrukas [l]
 C_{diesel} : Värmevärde för diesel [GJ/l]
 F_{diesel} : Emissionsfaktor för diesel [kg CO₂ e/GJ]

Underhåll av de två banöverbyggnaderna sker med olika intervall och varierar i omfattning. En järnväg kommer att genomgå ett antal underhåll under sin livstid, som varierar för olika spårtyper. Koldioxidutsläppen från underhållen beror på mängden förbrukad diesel från maskinerna och materialåtgången, vilket beräknades enligt ekvation 3.

$$E_{CO_2\ e-u} = \sum_{n=1}^U (\lambda_u (E_{CO_2\ e-p} + E_{CO_2\ e-k}))_n \quad (3)$$

- $E_{CO_2\ e-u}$: Det totala utsläppet av CO₂ e från underhåll [kg CO₂ e]
 U : Typ av underhållsåtgärder
 λ_u : Underhållsfrekvens [antal/år]
 n : Index för underhållsaktivitet

Det totala utsläppet från produktion, konstruktion och underhåll erhöles slutligen genom ekvation 4.

$$E_{CO_2\ e-tot} = E_{CO_2\ e-p} + E_{CO_2\ e-k} + E_{CO_2\ e-u} \quad (4)$$

$E_{CO_2\ e-tot}$: Det totala utsläppet av CO₂ e för den undersökta tiden [kg CO₂ e]

$E_{CO_2\ e-p}$: Det totala utsläppet av CO₂ e från produktion [kg CO₂ e]

$E_{CO_2\ e-k}$: Det totala utsläppet av CO₂ e från konstruktion [kg CO₂ e]

$E_{CO_2\ e-u}$: Det totala utsläppet av CO₂ e från underhåll [kg CO₂ e]

5.3.2 Kostnadskalkyl

Trafikverket har genomfört ett antal utredningar för vad en ny stambana kommer att kosta. I en rapport där det har utretts kostnader för investering, underhåll, reinvestering och drift beräknats för ballasterat spår med en hastighet på 250 km/h och fixerat spår med en hastighet på 320 km/h (Trafikverket 2018a). Både det nominella värdet och det reella värdet beräknades genom nuvärdesmetoden (diskonteringsmetoden) som har beskrivits i kapitel 4.1.3 (se ekvation 5), (Sandin och Persson, 1988, 5, 11).

$$NV = \sum_{i=1}^c a_i (1 + r)^{b-i} \quad (5)$$

NV : Nuvärde

r : Ränta

a_i : Kostnad i fast penningvärde år i

b : Basår

c : Avvecklingsår

Den totala kostnaden för den undersökta livslängden beräknades slutligen enligt ekvation 6.

$$K_{tot} = \sum_{t=1}^T (K_i + K_u + K_s) \quad (6)$$

T : Livstid [år]

t : Tid [år]

K_{tot} : Ett systems totala kostnad [miljoner kronor]

K_i : Investeringskostnad [kilokronor]

K_u : Underhållskostnad [kilokronor]

K_s : Kostnad för spårbyte [kilokronor]

5.3.3 Beräkning av teknisk tillgänglighet

Systecon definierar järnvägens tillgänglighet som funktion av den valda tekniska lösningen. Beräkningen av systemets tillgänglighet följer Systecons riktning och inkluderar felfrekvensen för systemet, inställelsetiden för reparationer samt reparationstiden. (Rauma, 2020). Detta har beräknats enligt ekvation 7. Enligt Rauma (2020) är det vanligt att räkna med 18 timmars drifttid per dygn.

$$T_g = \lambda_{fel} (T_i + T_r) \quad (7)$$

T_g : Tillgänglighet [h/år]

λ_f : Felfrekvens [fel/år]

T_i : Inställelsetid [h/fel]

T_r : Reparationstid [h/fel]

5.4 Beräkningar för evalueringsmodell

Beräkningarna för LCA, LCC och tillgänglighet genomfördes i Microsoft Excel, då det är ett smidigt dataprogram att göra kalkyler och grafer i. Till att börja med sammanställdes värden för klimatpåverkan, kostnad och tillgänglighet av ballasterat och fixerat spår i uppdelade flikar. Då det var tidsperioden 60 år och 120 år som undersöktes, togs de olika värdena ut för dessa. För att få de tre undersökta faktorerna till icke-monetära, sattes det ballasterade spåret som referenstal med värde 1. De icke-monetära värdena för koldioxidutsläpp och kostnad för fixerat spår räknades ut som andelen mellan spårtyperna, enligt ekvation 8 och 9. Värdena var lägre ju närmare origo de låg och lågt värde var mest önskvärt.

$$\text{Andel mellan spårtyperna} = \frac{\text{Koldioxidvärdet för fixerat spår}}{\text{Koldioxidvärdet för ballasterat spår}} \quad (8)$$

$$\text{Andel mellan spårtyperna} = \frac{\text{Kostnadsvärdet för fixerat spår}}{\text{Kostnadsvärdet för ballasterat spår}} \quad (9)$$

Ett bra system ska ha så hög tillgänglighet som möjligt vilket innebär att ett bättre värde för tillgänglighet skulle hamna längre ut på z-axeln. Därför räknades tillgänglighetsvärdet ut för fixerat spår enligt ekvation 10.

$$\text{Andel mellan spårtyperna} = \frac{\text{Tillgänglighetsvärde för ballasterat spår}}{\text{Tillgänglighetsvärde för fixerat spår}} \quad (10)$$

Slutligen sammanställdes andelarna i tre olika spindeldiagram, som konstruerades i Excel. Där spände koldioxidutsläpp upp över y-axeln, kostnad över x-axeln och tillgänglighet över z-axeln.

5.5 Källkritik

Den kvalitativa forskningsmetoden kritiseras ofta, till skillnad mot den kvantitativa forskningsmetoden, för att ha lägre *validitet* och *reliabilitet*. Med validitet avses hur pålitligt ett resultat av kvalitativ forskning är, det vill säga hur säkert det är att uppnå samma resultat då samma studie genomförs igen. Reliabilitet syftar till huruvida det som mäts i studien är det som faktiskt avses att mätas. Genom dessa kan studiens kvalitet evalueras. I en fallstudie är det alltid bättre att genomföra studien på flera fall. Ju fler desto säkrare att kunna visa på god validitet (Jensen och Sandström, 2016, 51). Då examensarbetet skedde under en begränsad tid var det också nödvändigt att hålla antalet intervjuer på en rimlig nivå, vilket skulle kunna påverka studien. Nyhlén (2005) problematiserar detta då informationen som intervjuaren väljer att ta med från intervjuer är selektiv och kan leda till ett skevt resultat. Enligt Johansson (2018) är ytterligare en risk med kvalitativa metoder att intervjuaren gör egna tolkningar vid intervjutillfället vilket leder till att resultatet av intervjuer kan bli snedvridet och/eller misstolkas. De här faktorerna anses dock inte ha påverkat studiens validitet negativt eftersom respondenterna var utvalda med omsorg för deras kompetens inom ämnesområdet. Antalet respondenter påverkar trovärdigheten i en rapport och i det här arbete skulle fler intervjuer ha kunnat genomföras. Däremot får det anses att antalet respondenter var tillräckligt för att besvara arbetets frågeställningar. Arbetets tidsplan begränsade också möjligheten att upprepa studien för att visa på hög tillförlitlighet. Då olika respondenter ofta gav liknande svar i de olika intervjuerna bedöms reliabiliteten som god.

Forskningsartiklar och plandokument har valts med hänseende till dess relevans för studien. I fall där författare är andra- eller tredjehandskälla har, i möjligaste mån, förstahandskällor spårats upp och använts. En annan faktor som har tagits hänsyn till har varit att källan ska vara uppdaterad och inte för gammal. Det här då bygg och underhållstekniker, maskiner och arbetsprocesser är i ständig förändring. Artiklarna som har använts i arbetet var relativt nypublicerade och fallstudiens plandokument är aktuella då det är ett pågående projekt.

Ett problem som uppmärksammades längs vägen var att fixerat spår är en relativt ny teknik för järnvägar vilket skapar en osäkerhet i hur spåret kommer att bete sig i ett längre perspektiv. Det finns begränsat med forskning och kunskap om hur lång livstid ett fixerat spår har och uppgifterna från källor har varierat i ett spann från 60 år upp till 120 år. Problematiken med varierande värden har även funnits i exempelvis hur stor emissionsfaktor en komponent har, hur ofta och omfattande underhåll ska genomföras för spårtyperna och hur mycket olika maskiner drar under olika arbetsmoment. Krezo et al. (2018) konstaterar exempelvis i sin artikel *Evaluation of CO₂ emissions from railway resurfacing maintenance activities*, att koldioxidutsläppen för en spårriktare över samma distans varierar mellan 155,5 ton CO₂e till 1 282,1 ton CO₂e beroende på källa, vilket har tagits i beaktande under arbetets gång.

6. Resultat

6.1 Livscykelanalys

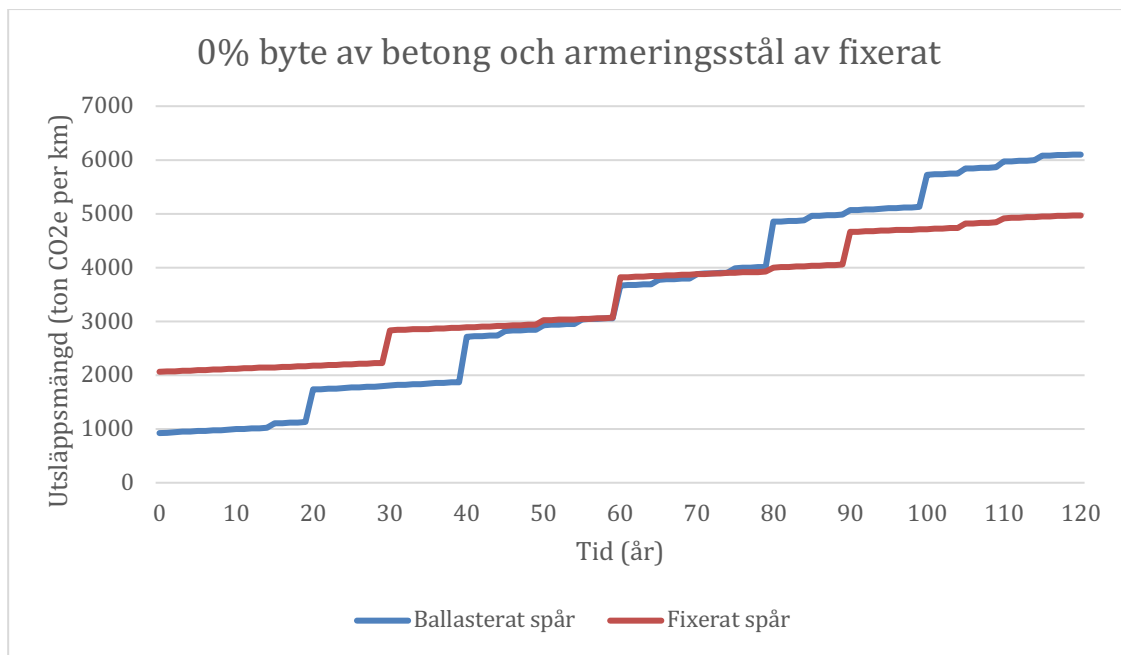
I arbetet undersöktes det totala utsläppet av koldioxidekvivalenter ur ett LCA-perspektiv för ballasterad och fixerad banöverbyggnad. Stegen som inkluderats i beräkningarna var produktion (A1-A3), konstruktion (A4-A5) och underhåll (B2-B5). Området som undersöktes var 1 kilometer på Ostlänken under tidsperioden 60 år och 120 år, se tabell 3. Olika arbetsmaskiner antogs drivas på diesel MK1 enligt Trafikverkets Klimatkalkyl med faktor 2,88 kg CO₂/l. Uträkningarna för de tre olika fallen i LCA-beräkningarna redogörs i Appendix B.

Tabell 3: De två spårtyperna jämfördes över en sträcka på 1 kilometer under en tidsperiod på 60 år och 120 år.

Typ av banöverbyggnad	Undersökt tidsperiod [år]	Geografiskt område	Distans [km]
Ballastspår	60 och 120	Järna–Linköping	1
Fixerat spår	60 och 120	Järna–Linköping	1

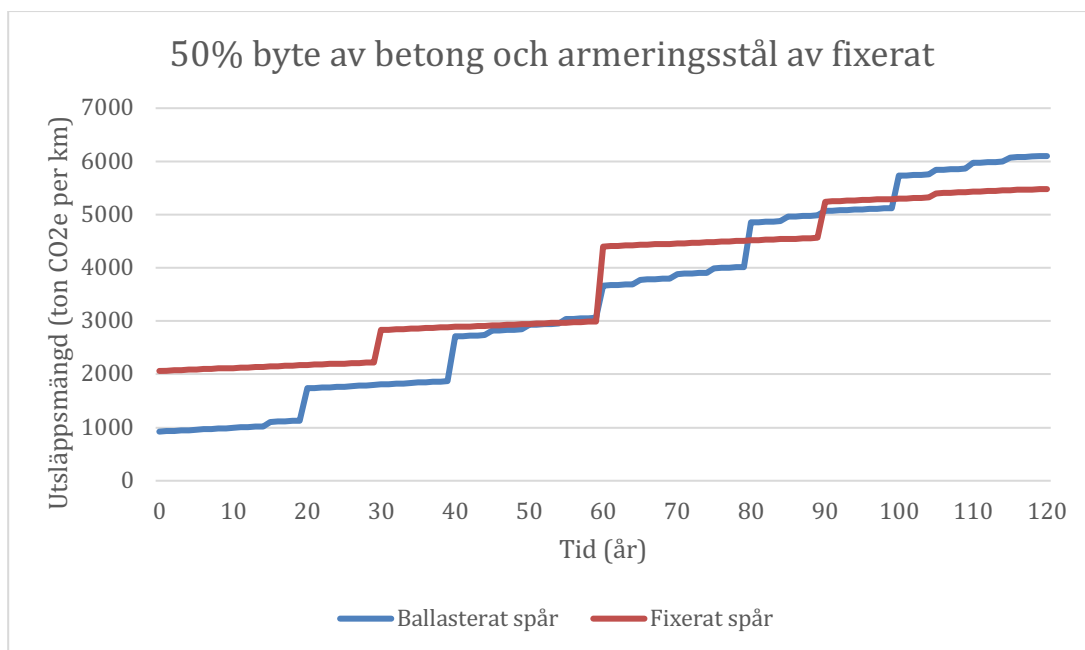
I den första jämförelsen av koldioxidutsläppen för de två spårtyperna sattes livstiden för fixerat spår till 120 år. Det innebar att betongen inte byttes ut under den studerade perioden. Resultatet sammanställdes i figur 22, där det observerades att fixerat spår till en början hade högre koldioxidutsläpp från konstruktionen. Efter ungefär 50 år hade de två spårtyperna samma utsläppsmängd och efter ytterligare 10 år visade resultatet att ballasterat spår släppte ut högre mängd koldioxidekvivalenter. Anledningen till att ballasterat spår gick om fixerat spår efter 60 år, var att reinvestering av ballasterat spår skedde vart 40:e år, medan ingen stor reinvestering genomfördes av fixerat spår.

I kapitel 6.3.3 redogjordes för hur underhåll av ballasterat och fixerat spår går till. Som gick att utläsa i figur 22, skedde stegvisa ökningarna av det ballasterade spåret vart 20:e år. Detta berodde på att rälna byttes ut och spårriktning (mindre underhåll) genomfördes. Vart 40:e år genomfördes spårbyte (större underhåll) av det ballasterade spåret och från detta kommer de stegvisa ökningarna vart 40:e år. Övriga underhåll som ledde till den successiva ökningen var bland annat spårslipning och ogräsbekämpning. Byte av räl skedde vart 30:e år för fixerat spår, vilket gick att uttyda i grafen. Förutom detta skedde spårslipning varje år vilket gav mindre hack i kurvan.



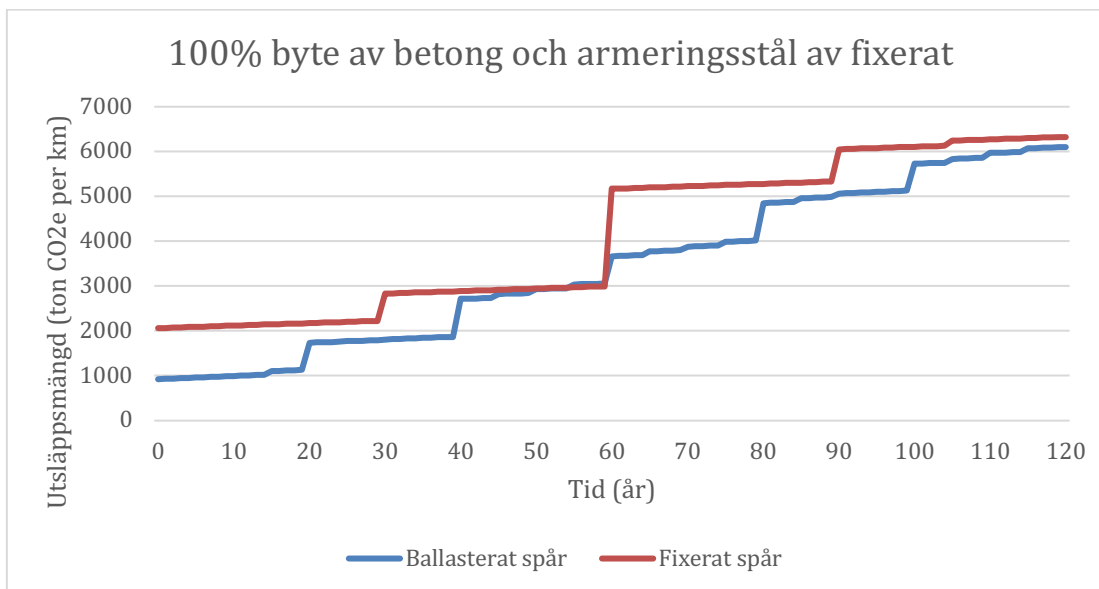
Figur 22: Jämförelse av klimatpåverkan över tid mellan ballasterat spår och fixerat spår, där det fixerade spåret hade en livstid på 120 år. Ingen betong eller armeringsstål byttes ut av det fixerade spåret.

Därefter jämfördes hur utsläppsmängden för fixerat spår varierade beroende på hur mycket betong och armeringsstål som byttes ut vid reinvestering. Det fixerade spåret beräknades ha en livstid på 60 år, vilket var den kortaste livstiden för fixerat spår som hittats i källor och som Trafikverket använder i Klimatkalkyl. Beräkningarna visade att i fallet där hälften av materialet byttes ut hade ballasterat spår något högre utsläpp efter 60 år (se figur 23). Vid den perioden förnyades hälften av det fixerade spårets material, vilket gjorde att det fixerade spåret återigen gick om det ballasterade spåret i utsläppsmängd och fick en brantare lutning. Efter 60 år visades det att ballasterat spår hade ett högre koldioxidutsläpp än resten av den undersökta perioden. I det andra fallet, där all betong och armeringsstål byttes ut av det fixerade spåret, var utsläppsmängden för ballasterat spår till en början något högre. Efter att allt material förnyats var utsläppsmängden för fixerat spår däremot högre under resten av den undersökta perioden (se figur 24).



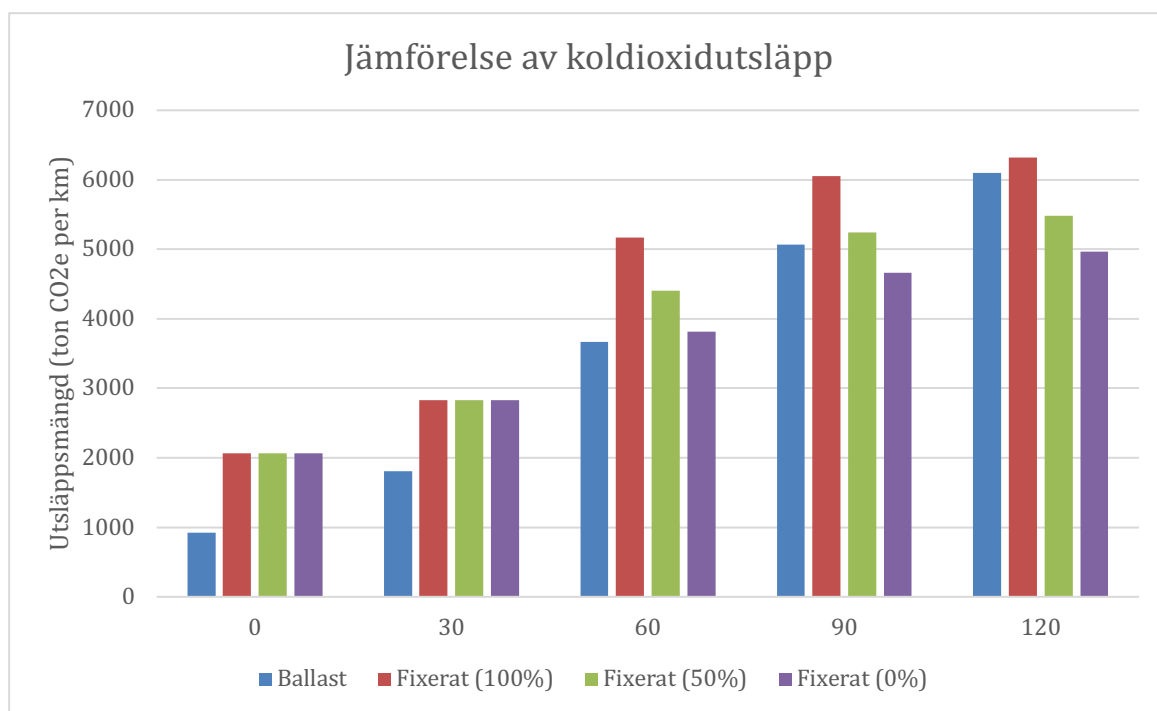
Figur 23: Jämförelse av klimatpåverkan över tid mellan ballasterat spår och fixerat spår, där det fixerade spåret hade en livstid på 60 år. Efter 60 år byttes hälften av betongen och armeringen av det fixerade spåret ut.

I fallet där all betong och armeringsstål byttes ut av det fixerade spåret, var utsläppsmängden för ballasterat spår något högre efter 60 år. När all betong och armeringsstål förnyats, var utsläppsmängden för fixerat spår däremot högre under resten av den undersökta perioden.



Figur 24: Jämförelse av klimatpåverkan över tid mellan ballasterat spår och fixerat spår, där det fixerade spåret hade en livstid på 60 år. Efter 60 år byttes all betongen och armeringen ut av det fixerade spåret ut.

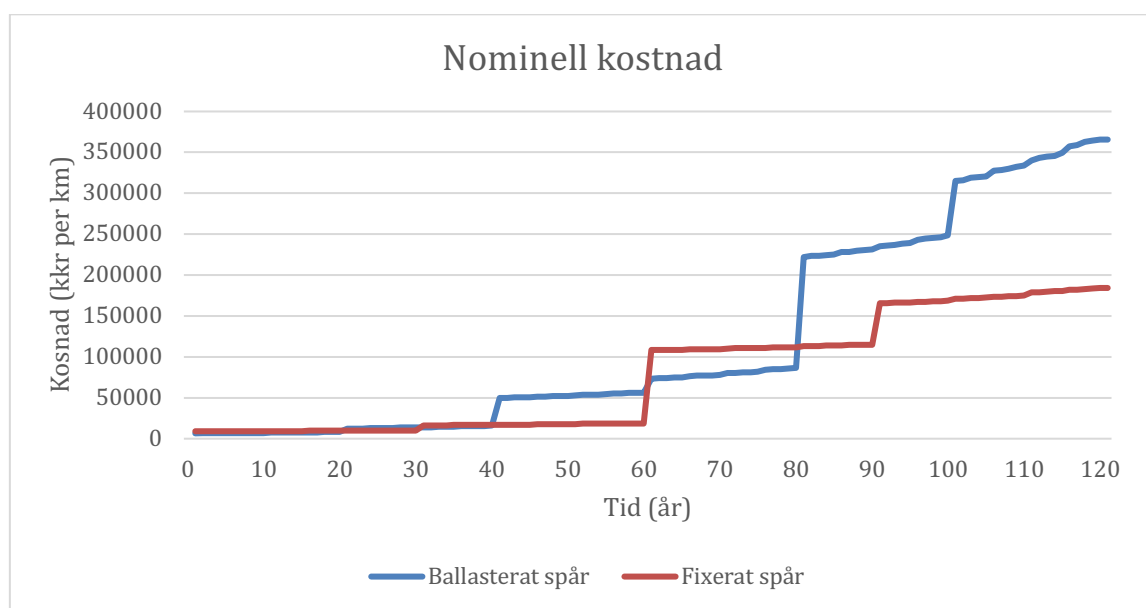
Nedan visas en sammanställning av koldioxidutsläppen från ballasterat spår, fixerat spår med en livslängd på 120 år, fixerat spår med livslängd på 60 år där hälften av betongen och armeringsstålet byts ut samt fixerat spår med livslängd på 60 år där all betong och armeringsstål byts ut (se figur 25). Resultatet visade att ballasterat spår till en början hade lägst koldioxidutsläpp. Detta fram till en brytpunkt efter 60 år, då ballasterat spår med en livslängd på 120 år hade lägst. Det beror på att det endast genomfördes reinvestering av spårets räler och inte i något annat material, vilket gjordes för de tre andra fallen. I slutet av den undersökta perioden hade fixerat spår, där allt material byts ut efter 60 år, något högre koldioxidutsläpp än ballasterat spår.



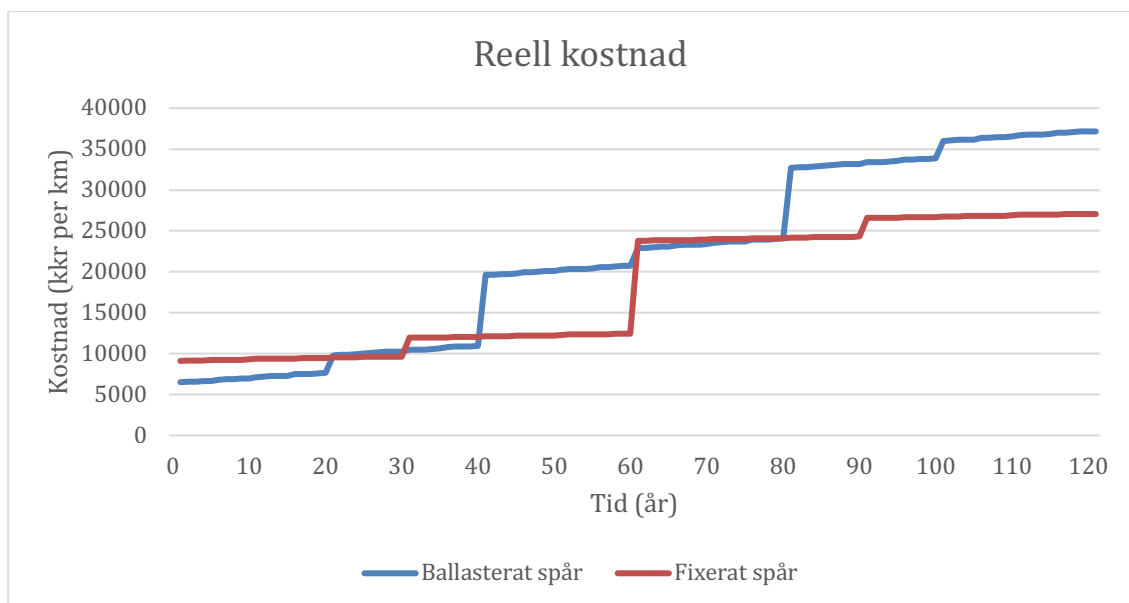
Figur 25: I grafen visas en sammanställning av koldioxidutsläppen för ballasterat spår och tre olika fall av fixerat spår. Hur mycket material av det fixerade spåret som byttes ut varierade mellan 0%, 50% och 100%.

6.2 Kostnader

Både nominell och reell kostnad undersöktes för en kilometer spår på Ostlänken under en period på 120 år, vilket sammanställdes i figur 26 och 27. Dessa skiljer sig genom att nominell kostnad tar hänsyn till inflation vilket reell kostnad inte gör. Kalkylräntan sattes till 3,5 procent, då det är räntan som Trafikverket använder i sina ekonomiska kalkyler. Från graferna kunde det konstateras att det är initialt dyrare att investera i fixerat spår men efter cirka tjugo år blir fixerat spår billigare. Detta gällde både vid undersökning av nominell kostnad och reell kostnad. Det var svårt att tyda den första kostnadsperioden för den nominella kostnaden i grafen. Detta berodde på att systemet undersöktes för en lång tid vilket innebar att pengavärdet påverkades av kalkylräntan över tid. I båda graferna visade resultatet på att det fixerade spåret var dyrare till en början, men efter ungefär 30 år var det fixerade spåret billigare. Kostnaderna för det fixerade spåret steg däremot och var mellan tidsperioden 60–80 år dyrare. Detta berodde på att en reinvestering av det fixerade spåret tillkom efter 60 år, där materialkostnaderna var väldigt höga. För ballastspåret kan istället tydas en något jämnare kurva med kontinuerliga kostnader, främst för underhåll. Uträkningarna för den nominella och reella kostnaden redovisas i Appendix C.



Figur 26: I figuren visas utvecklingen av den nominella kostnaden för ballasterat och fixerat spår över en tidsperiod på 120 år. I ett första skede var den nominella kostnaden av fixerat spår högre, men efter cirka tjugo år var kostnaderna ungefär desamma för de två spårtyperna. Efter 60 år kostade det fixerade spåret mer på grund av dyra investeringar. Efter ytterligare 20 år krävdes dock dyra investeringar för ballasterat spår och kostnaden för spårtypen gick om det fixerade spåret och förblev dyrare under resten av den undersökta tidsperioden (Trafikverket, 2020).



Figur 27: I figuren visas utvecklingen av den reella kostnaden för ballasterat och fixerat spår över en tidsperiod på 120 år. Kurvan följer samma trend som den nominella kostnaden. I ett första skede var den nominella kostnaden av fixerat spår högre, men efter cirka tjugo år var kostnaderna ungefär desamma för de två spårtyperna. Efter 60 år kostade det fixerade spåret mer på grund av dyra investeringar. Efter ytterligare 20 år krävdes dock dyra investeringar för ballasterat spår och kostnaden för spårtypen gick om det fixerade spåret och förblev dyrare under resten av den undersökta tidsperioden (Trafikverket, 2020).

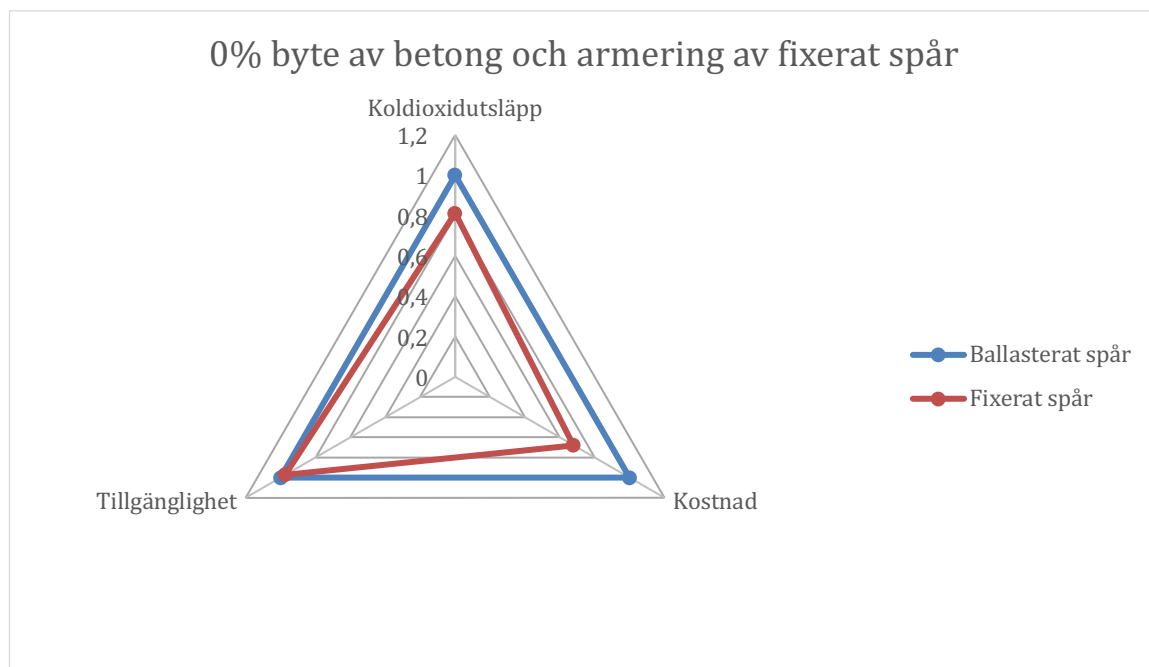
6.3 Tillgänglighet

I studien visade det sig att tillgängligheten varierar beroende på vilken typ av spår som Ostlänken skulle byggas i (se figur 21). Ballasterat spår beräknas ha en tillgänglighet på 95,76% och fixerat spår beräknas ha 98,39%. Detta för sträckan Ostlänken över ett 120 års-perspektiv. Den var något lägre för ballasterat spår vilket kunde påverka trafiken negativt. Anledningen till att fixerat spår har bättre tillgänglighet är att det kräver mindre underhåll. Därmed undviks både reparationstid och inställelsetid.

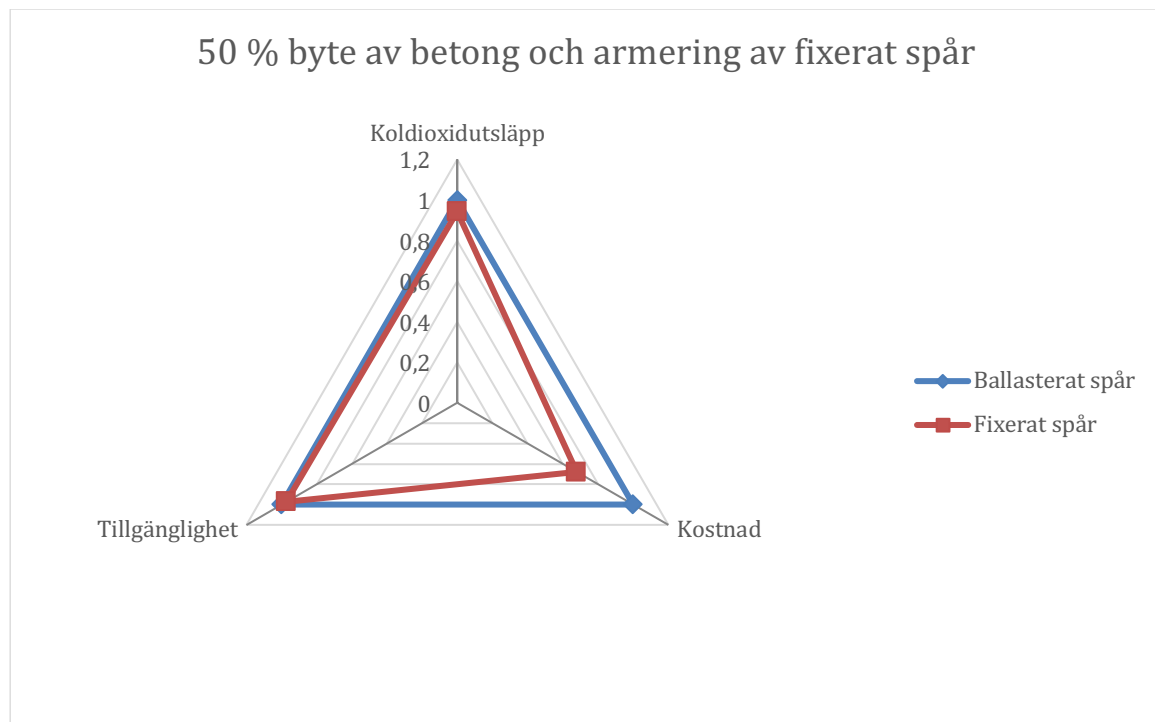
6.4 Beräkningar för evalueringsmodell

Slutligen sammanställdes tre tredimensionella evalueringsmodeller för de olika fallen av materialbyte av det fixerade spåret (se figur 28, 29 och 30). I modellerna jämfördes det fixerade spåret mot ballasterat spår med avseende på koldioxidutsläpp, reell kostnad och tillgänglighet. På y-axeln jämfördes de två spårtypernas värden för koldioxidutsläpp, på x-axeln jämfördes den reella kostnaden och på z-axeln jämfördes tillgängligheten av systemen. Det bästa alternativet av varje faktor låg närmast origo. Tillgänglighet och kostnad var

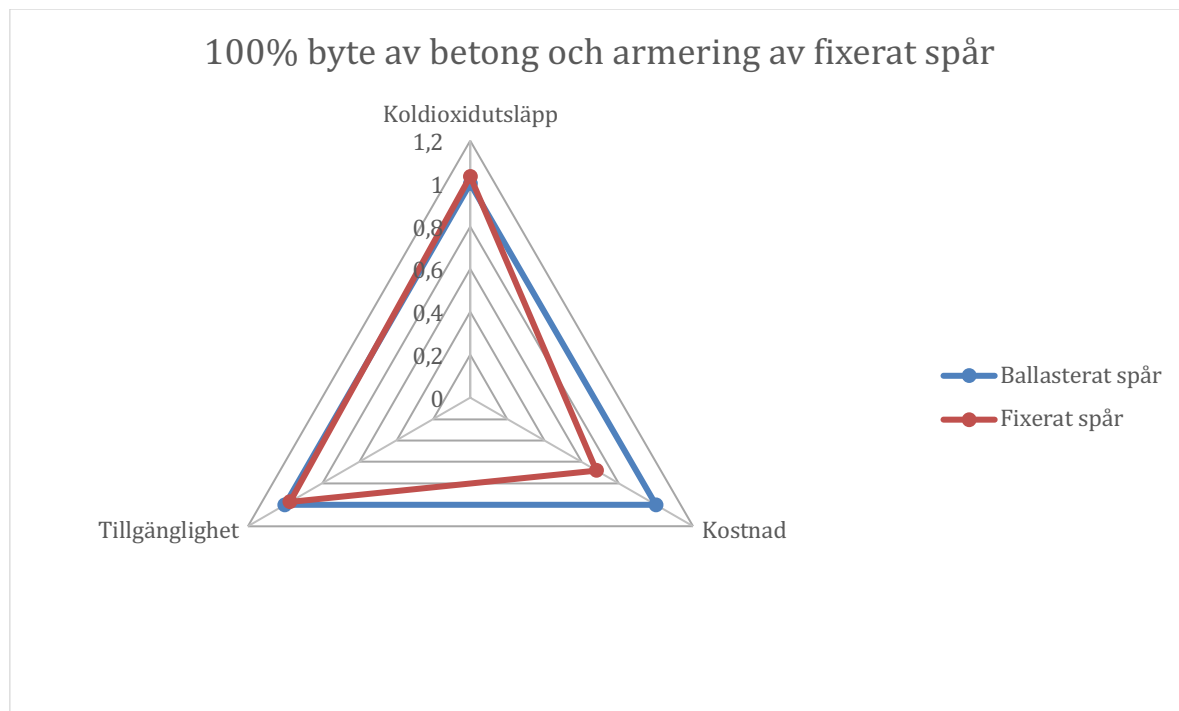
desamma för de olika tre fallen av fixerat spår. Det kunde utläsas i evalueringsmodellerna att fixerat spår var det bästa alternativet med avseende på kostnad och tillgänglighet då värdena låg närmast origo. Medan skillnaden i kostnader framträdde tydligt, var skillnaden i tillgänglighet något svårare att utläsa. I figur 28 undersöktes fallet där inget material av det fixerade spåret byttes ut. Det fixerade spåret var märkbart bättre och koldioxidvärdet på y-axeln var synligt närmare origo jämfört med det ballasterade spåret. Även i figur 29, där hälften av materialet av det fixerade spåret byttes ut, kunde det observeras att koldioxidvärdet var närmare origo jämfört med ballasterat spår. Koldioxidvärdet för fixerat spår i figur 29 hade däremot något högre värde på y-axeln jämfört med figur 28 och var alltså inte ett lika bra resultat som föregående fall. I det sista fallet där, allt material av det fixerade spåret byttes ut, kunde det utläsas i figur 30, att det fixerade spåret hade högre värde på y-axeln jämfört med ballasterat spår. Från det kunde det konstateras att fixerat spår var ett sämre alternativ sett från ett klimatperspektiv. Uträkningarna för de tredimensionella modellerna redovisas i Appendix D.



Figur 28: En tredimensionell evalueringsmodell av alternativet där det fixerade spåret hade en livslängd på 120 år och ingen betong eller armeringsstål byttes ut. I beräkningarna sattes det ballasterade spårets värden till referenstalet 1. De värden för det fixerade spåret som var lägre än 1 och därmed närmare origo var att föredra. I grafen framkom det att i värdena för fixerat spår var bättre i de tre parametrarna koldioxidutsläpp, kostnad och tillgänglighet.



Figur 29: En tredimensionell evalueringsmodell av alternativet där hälften av betongen och armeringsstålet byttes ut av det fixerade spåret. I beräkningarna sattes det ballasterade spårets värden till referenstalet 1. De värden för det fixerade spåret som var lägre än 1 och därmed närmare origo var att föredra. I grafen framkom det att i värdena för fixerat spår var något bättre i de tre parametrarna koldioxidutsläpp, kostnad och tillgänglighet.



Figur 30: En tredimensionell evalueringsmodell av alternativet där all betong och armeringsstål byttes ut av det fixerade spåret. I beräkningarna sattes det ballasterade spårets värden till referenstalet 1. De värden för det fixerade spåret som var lägre än 1 och därmed närmare origo var att föredra. I grafen framkom det att i värdena för fixerat spår var bättre i de tre parametrarna kostnad och tillgänglighet men något sämre i parameteren koldioxidutsläpp.

7. Diskussion

I följande avsnitt diskuteras resultatet av fallstudien (7.1) och därefter analyseras den utformade modellen som analysverktyg (7.2). Avsnittet avslutas med att det diskuteras om hur modellen skulle kunna tillämpas i Systecons verksamhet (7.3) samt exempel på vidare studier (7.4).

7.1 Resultat av fallstudien

I den genomförda studien, framkom det att ballasterat spår släppte ut mer koldioxid från banunderhåll jämfört med fixerat spår. Eftersom ballasterat spår tappar formen efter en tid, behövs frekvent underhåll som främst genomförs av tunga dieseldrivna arbetsmaskiner. Dessa typer av maskiner kommer även att användas vid underhåll av Ostlänken. De kontinuerliga utsläppen från banans underhåll kunde ses i resultatet i graferna 22, 23, 24 och 25. I graferna gick det att observera en stigande lutning av koldioxidutsläppen för det ballasterade spåret. Vart 30:e år uppstod en något brantare lutning, då det beräknades att spårriktning och ballastrening skulle genomföras. Det ska tas i beaktande att de genomförda klimatkalkylerna av ballasterat spår är osäker eftersom olika källor uppgav väldigt varierande siffror. Det gällde exempelvis hur ofta större och mindre underhåll ska genomföras samt hur mycket diesel olika arbetsmaskiner förbrukar. Skillnaden i klimatpåverkan mellan spårtyperna var mellan 10–15% och behöver därmed inte vara den avgörande faktorn eftersom det finns stora osäkerheter i undersökningen. Däremot var miljöpåverkansfaktorerna som undersöktes begränsat till koldioxidutsläpp och om fler parametrar inkluderades skulle resultatet se annorlunda ut.

Beräkningen för ballasterat spår kan också tyckas något optimistisk, eftersom det inte har tagits någon hänsyn till eventuellt behov av felavhjälpning. Detta var något som Bång (2020) menade var en av de främsta anledningarna till att ballasterat spår släpper ut höga halter av växthusgaser. Han ansåg att ballastspåren inte har fått förebyggande underhåll i den utsträckning som behövs. Resultatet av det här går att se idag då vissa sträckor behöver felavhjälpning upp till flera gånger om året, vilket leder till onödiga koldioxidutsläpp, läcker pengar och begränsar tillgängligheten. Anledningen till att det inte togs med i beräkningarna var för att frekvensen av felavhjälpning på ballasterat spår varierar väldigt mycket beroende på hur tungt trafikerad sträckan är och hur bra spårriktningen har gjorts från början av spårets livstid. Det är en viktig del som bör tas hänsyn till för Ostlänken.

I studien framgick det att den största mängden koldioxidutsläpp från fixerat spår sker vid utvinning och produktion av material till spåret. Detta stämde bra överens med resultaten från tidigare vetenskapliga studier. Även om utsläppsmängden av koldioxid är primärt högre för fixerat spår, kunde det utläsas i graferna att ballasterat spår kan gå om fixerat spår i utsläppsmängd över en längre tid. Det kunde konstateras att det främst beror på hur mycket material som behöver förnyas av det fixerade spåret. I grafen ökar lutningen för det fixerade spåret väldigt långsamt eftersom det kräver mycket mindre underhåll än ballasterat spår. I två av de undersökta fallen förnyades materialet i det fixerade spåret efter 60 år. Detta syntes

tydligt i några av graferna, där lutningen för fixerat spår tog ett brant hopp i kurvan, vilket berodde på de höga koldioxidutsläppen som genereras vid framställning av byggmaterialet. Jämförelsevis steg det ballasterade spåret successiv och hade en mindre dramatisk ökning när spårmaterial förnyades då materialet har lägre koldioxidutsläpp vid produktion. Risken för att allt material av ett fixerat spår skulle behöva bytas ut menar Bång (2020) är något som kan undvikas med prefabricerade spår. Detta då det finns en möjlighet att endast öppna en del av spåret för att reparera en eller ett fåtal plattor. Det finns också en möjlighet att justera sättningar genom att injicera betong i förborrade hål i hörnen, för att få en pumpeffekt där plattorna lyfter sig själva.

Ostlänken kommer att byggas i ballasterat spår, men planen är i dagsläget att vissa delar av den nya stambanan ska byggas som fixerat. Det kommer då att vara viktigt att ta hänsyn till klimatpåverkan från materialframställningen, eftersom det påverkar hela systemets totala utsläpp i stor utsträckning. Fixerat spår består av betong och då betong visades generera stora utsläppsmängder, skulle det kunna minska klimatpåverkan från fixerat spår om materialet framställdes mer energieffektivt. Detta framförallt under calcifieringen av cement eftersom cement står för ungefär 60 procent av betongens totala koldioxidutsläpp. Förutom miljöeffektivisering är det rimligt att anta att utsläppen från betongproduktionen till stor grad kan påverkas av vilken typ av energikälla som används vid framställningen. I det genomförda arbetet baserades utsläppsvärdet för betong på en rapport utförd av IVL (2010). I rapporten utgick beräkningarna från 2008 års data för svensk energimix, som ansågs vara en relativt miljövänlig energiproduktion. Skulle däremot betongen importeras från andra länder med sämre energimix, kan värdena försämrats. På liknande sätt påverkas samtliga material av hur lång leveranssträcka det kommer att vara mellan producent och byggsträcka. Detsamma gäller produktion av räler och armering som består av stål. Idag innehåller stålet en viss andel återvunnet skrot. Skulle denna andel öka kan det tänkas leda till ett mindre behov av utvunnet järn och därmed leda till minskat koldioxidutsläpp från processen. Detta skulle främst påverka det fixerade spåret eftersom det innehåller en stor mängd armeringsstål.

En aspekt som inte tas hänsyn i det här arbetet är att betong har en förmåga att binda koldioxid. För ett fixerat spår, som består av stora mängder betong, skulle det kunna påverka resultatet av utsläppsmängden. I studien kunde det också konstateras att livstiden för fixerat spår varierade mycket mellan olika källor, varför både 60 år och 120 år undersöktes som tidsperiod. En anledning till denna osäkerhet kan tänkas vara att fixerat spår inte har applicerats som teknik för järnväg i mer än ungefär femtio år, vilket är en begränsad tid att studera en järnväg. Det skulle också kunna bero på att länder som använder fixerat spår har varierande klimat och olika mycket problem med sättningar i marken, vilket kan påverka materialets hållbarhet.

Några fördelar med ballasterat spår som framkom i studien var att det bland annat är en välkänd teknik och har lägre investeringskostnad. För Ostlänken kommer även ballastmaterial i ett byggskede att tillhandahållas "gratis" från tunnelsprängningar. Däremot uppmärksammades det i många källor att ett problem med tekniken är att ballastmaterialet bland annat nöts ner till mindre partiklar, som kan leda till att spåret blir instabilt och tappar den dränerande förmågan. Därmed kräver spåret materialförnyelse och underhåll ofta.

Eftersom utsläppen för ballasterat spår både beror på förnyelse av material och dieseldrivna arbetsmaskiner, skulle en förbättring ur ett klimatperspektiv dels kunna vara att förbättra de material som används i spåren. I likhet med fixerat spår är både betong och stålmaterial som bidrar till stora mängder koldioxidutsläpp från ballasterat spår. Att förbättra materialframställningen skulle, liksom för det fixerade spåret, kunna minska spårets utsläppsmängd. Vidare skulle det kunna minska koldioxidutsläppen om det investerades och utvecklades mer miljövänliga maskiner för byggnation och underhåll av Ostlänken och den nya stambanan. Detta gäller också vid utvinning av kalksten och järnmalm till cement respektive stål. Det skulle kunna göra stor skillnad om maskinerna ändrades från dieseldrivna motorer till mer energieffektiva och miljövänliga alternativ.

7.2 Modellen som analysverktyg

Fallstudien visade att fixerat spår kostar mer i investering, vilket förändrades över tid. Beräkningar från Trafikverket (2020) visade efter ungefär 30 år var den reella kostnaden för det fixerade spåret lägre än ballasterat. Men efter 60 år gjordes en reinvestering i det fixerade spåret vilket fick kostnaden för spårtypen av att stiga igen. Däremot kostade det fixerade spåret konstant mindre än ballasterat spår efter 80 år. Det kunde konstateras från graferna att medan ballasterat spår fick löpande underhåll, genomfördes färre men dyrare underhållsåtgärder av det fixerade spåret. Skillnaden i kostnaderna berodde dels på att ballasterat spår behöver mer underhåll kontinuerligt och för att fixerat spår är en dyrare konstruktion med höga kostnader för bland annat material. Det kunde också fastställas att det fixerade spåret hade en högre tillgänglighet över en period på 120 år. Kirilmaz (2020) och Rauma (2020) menade att det är viktigt för ett järnvägssystem att ha hög driftsäkerhet med hög tillgänglighet. Skulle det uppstå problem på Ostlänken som kräver mycket underhåll eller tar lång tid att reparera, kan tillgängligheten sjunka. I ett vidare perspektiv kan låg tillgänglighet innebära att tågtrafiken påverkas och därmed resenärerna. Medan ballasterat spår beräknas att ha en tillgänglighet på 95,8 procent beräknas fixerat spår ha en tillgänglighet på 98,4 procent, vilket kan tyckas vara en liten skillnad. Omvänt är däremot skillnaden i neretid (den tid som systemet inte är tillgängligt) 2,6 procentenheter, vilket är en signifikant skillnad. Det kan tänkas att det kan påverka trafiken i stor utsträckning. Som exempel kan tas att ett av syftena med Ostlänken är att öka antalet resenärer. För att det ska ske är det avgörande att ett nytt järnvägsspår har bättre kapacitet än idag för att locka resenärer. Skulle Ostlänken drabbas av återkommande problem med spåret, kommer otillgängligheten att öka eftersom framkomligheten på spåren minskar. Det här kan leda till förseningar i trafiken och/eller inställda tåg. Problem i tågtrafiken skulle kunna skapa frustration hos tågresenärer som tillslut väljer bil eller flyg då det upplevs smidigare. Med nedsatt tillgänglighet kommer kostnadskrävande underhåll, vilka sker med arbetsmaskiner som har stor klimatpåverkan. Detta samband kan också ses från ett annat perspektiv. Om investeringskostnaden hålls nere till den grad att det material som investeras i har dålig kvalitet, kan underhållen öka med begränsad tillgänglighet och högre koldioxidutsläpp. För Trafikverket har investeringskostnaden för ett system länge varit en ledande faktor. Men eftersom klimatmålen för fordonssektorn har ökat, kommer det att bli

viktigt i upphandlingar i projekt Ostlänken, att ta hänsyn till det mer komplexa perspektivet och se till samverkan mellan systemets delar

Från detta kan det konstateras att det är en risk för att viktiga kriterier för ett system inte tas hänsyn om endast en parameter undersöks i en evalueringsmodell. I komplexa järnvägsmodeller beror alla parametrar på varandra. Modellen i detta arbete var en väldigt begränsad typ av multikriterieanalys och ambitionen var snarare att göra det enkelt för utomstående att jämföra olika värderingar än att komma fram till en slutsats utifrån jämförelsen av spåren. I multikriterieanalyser överförs varje parameter till en och samma enhet, i detta fall till icke-monetär i form av andelar. Fördelen med ett sådant tillvägagångssätt, är att olika alternativ lättare kan jämföras då samtliga faktorer kan vägas samman till ett slutvärde. Detta kan vara en viktig strategi vid anskaffningsprojekt eftersom det kan visa sig att ett alternativ som exempelvis är billigare pengamässigt, faktiskt är dyrare när alla kriterier vägs samman. Diagrammet som skapades i detta projekt, bestod av tre axlar där alternativen närmast origo var bäst. I scenariot där fixerat spår hade en livstid på 120 år och ingen betong eller stål behövde bytas ut, kunde det observeras att samtliga parametrar låg närmast origo, alltså innanför ballastalternativet och var därmed bättre. För scenariot där hälften av materialet byttes ut var utsläppsmängden fortfarande bättre. När däremot allt material av det fixerade spåret förnyades, hamnade parametern koldioxidutsläpp längre ut på axeln och var ett sämre alternativ i det avseendet.

Om en utvärdering visar att minst en parameter är sämre jämfört med det andra systemets parametervärde, kommer det att behöva tas ställning till vilket/vilka kriterier som väger tyngst. Detta är förutsatt att det alternativ som verkar mest attraktivt uppfyller alla kriterier som har bestämts i MKA:n. Skulle exempelvis ett kriterium i denna undersökning ha varit att systemet inte får släppa ut mer än 2 000 ton CO₂ efter 30 år, skulle fixerat spår uteslutas. Detta oavsett hur bra de övriga parametrarna är. För att få de mest fördelaktiga alternativen ska varje linje som inte skär en annan linje plockas bort. Så fort två nät skär varandra kommer en värdering mellan alternativen att behöva göras.

7.3 Tillämpning av modellen i Systecons verksamhet

Eftersom detta arbete har gjorts i samarbete av Systecon var en intressant fråga hur den utformade modellen skulle kunna appliceras i deras verksamhet. Det var viktigt i arbetet att lyfta att företaget redan arbetar med icke-monetär värdering av kostnad och tillgänglighet. Systecon har som intresse i att utöka sin verksamhet och inkludera miljöfrågan som en parameter vid evalueringar i anskaffningsprojekt, varför detta arbete var av intresse för företaget. Detta ligger väl i tid då det har blivit allt vanligare, exempelvis för Trafikverket, att öka klimatkrav i upphandlingar. Skulle Systecon inkludera en till parameter (eller flera) i en evalueringsmodell kan en tredimensionell modell (eller flera) skapas, där miljö spänns över z-axeln. I företagets nuvarande modell redovisas de mest fördelaktiga alternativen längs en optimal kurva i ett plan. Varje punkt på den optimala lutningen representerar en vektor och då modellen expanderar till att inkludera fler parametrar, kommer dessa vektorer att skapa en

triangel i ett tvådimensionellt plan. Det kommer alltså att vara samma sätt att utvärdera ett problem men med ett tredje diagram.

Företaget kan redovisa sina analyser i kostnad och ett alternativ skulle vara att införa en monetär utvärdering för miljöpåverkan för att kunna sammanställa samtliga parametrar i en totalkostnad för olika utvärderade alternativ. Systecon kan också redovisa deras analyser som icke-monetära parametrar. Alternativet är då att de skapar ett poängsystem, i enlighet med redan definierade poängsystem för miljöpåverkan, för att sätta en poäng på olika alternativ istället för kostnad. En poängsättning eller kostnadsvärdering av olika faktorer är däremot inte helt oproblematiskt då det krävs en skattning av hur mycket olika faktorer är värda i poäng. Hur ser exempelvis värderingen av koldioxid ut mot försurning. Kommer koldioxidutsläppen skattas med högre poäng och är det rimligt att jämföra det med en skattning av försurning? Ur ett ekonomiskt perspektiv skulle det kunna tydliggöras än mer vid anskaffningsprojekt, att det inte nödvändigtvis är alternativet med lägst investeringskostnad som är mest kostnadsekonomiskt i längden. Skulle det till exempel visa sig att underhåll av ballastspår inte endast ger högre koldioxidutsläpp utan även leder till försurning i omgivande miljö, kommer både kostnader för koldioxidutsläpp och åtgärdskostnader mot försurningen att adderas i totala kostnaden. Återigen uppstår däremot problemet med att sätta en kostnad på olika miljöpåverkansfaktorer. Hur stor är exempelvis kostnaden av försurning av närliggande vattendrag jämfört med koldioxidutsläppen och hur ska detta värderas.

En annan utmaning med att införa nya kriterier i sin utvärderingsmodell för Systecon, kan bli att hitta rätt data. Som tidigare nämnts i källkritik i kapitel 5.5, har en svårighet i det genomförda arbetet varit att hitta bra data samt navigera genom olika källors varierande värden. Medan koldioxidutsläpp kan anses relativt enkelt att utvärdera, då det går att göra beräkningar utifrån kvantitativa data, kan andra miljöpåverkansfaktorer vara mer komplicerade. Vidare kommer det att vara viktigt för Systecon att sätta väl utstuderade systemgränser och funktionell enhet samt utarbeta bra beräkningsmetoder, som stämmer överens med utvärderingsmetoden av kostnad och tillgänglighet. Detta för att det ska bli en så rättvis bedömning som möjligt

7.4 Förslag på vidare studier

Modellen som har utformats i detta arbete är endast ett exempel på hur en utvärderingsmodell kan se ut då det ska tas hänsyn till fler än två parametrar. Modellen är begränsad och de tre olika delarna som evalueras i modellen kan utvecklas för att modellen ska bli mer täckande. I livscykelanalysen har exempelvis endast koldioxidekvivalenter inkluderats i beräkningarna. Skulle en liknande modell användas i ett anskaffningsprojekt, blir jämförelse av miljöpåverkan mellan olika alternativ väldigt snäv. En framtida utveckling av detta arbete skulle därmed vara att nyansera miljöaspekter för att ge en mer rättvisande evaluering.

Eftersom vissa delar av den nya stambanan planeras att byggas som fixerat spår, blir det relevant att undersöka miljövänliga alternativ av främst betong och järn. Det är också

essentiellt att utreda vilken typ av fixerat spår som är bäst ur ett hållbart perspektiv. Trafikverket har satt en teknisk kravspecifikation att spåret ska konstrueras som helgjutet. Däremot finns det fixerade spår som byggs i prefabricerade delar vilket ökar möjligheten att reparera och förnya mindre delar av banöverbyggnaden, jämfört med helgjutet spår. Det här kan vara tänkvärt för vidare utredning av stambanan.

Hållbarhet är ett begrepp som har definierats i det här arbete som ett viktigt ledord. Endast två av de tre kriterierna togs med i det utförda arbetet. Den sociala- och samhälleliga aspekten ansågs vara för omfattande och tidskrävande för att tas hänsyn till. Det finns många intressanta parametrar att utforska i en SLCA. Ett mål med den nya stambanan är exempelvis att göra det smidigare för pendlare att bo utanför de största städerna och enkelt kunna pendla in till sina jobb. Genom en tydlig avgränsning skulle SLCA kunna inkluderas i en framtida vidareundersökning av det här arbete. En intressant avgränsning är exempelvis att undersöka hur ett samhälle kan komma att påverkas av att bli en hållplats i den nya stambanan. Kommer det att påverka invånarantalet då fler människor som flyttar till de mindre städerna längs med Ostlänken för att pendlingen blir smidigare? Kommer folk att flytta från området på grund av att bullernivån stiger från järnvägen? En annan SLCA-aspekt är att undersöka om banarbetares eller tågpersonalens arbetsvillkor kommer att påverkas beroende på spårtyp. Kommer till exempel arbetsmomenten för byggarbetarna att förändras beroende på banöverbyggnad? Kommer det att påverka personalens hälsa?

8. Slutsats

I livscykelanalysen som genomfördes i fallstudien framkom det att den främsta utsläppsfaktorn för ballasterat spår är underhåll, på grund av att momenten främst utförs av tunga dieseldrivna arbetsmaskiner. Fixerat spår är nästan underhållsfritt men genererar istället stora mängder koldioxid vid framställningen av betong och stål. Över tid kan utsläppsmängden för ballasterat spår bli högre än fixerat, dels beroende på hur underhållet av det ballasterade spåret sköts från att det tas i bruk, samt det fixerade spårets livslängd och mängd material som behöver förnyas.

Ostlänken kommer att byggas som dubbelspår i ballast och en viktig aspekt att ta hänsyn till är att redan från början av banans livstid genomföra regelbundna underhåll i förebyggande syfte. Risken är annars att det ballasterade spåret kommer att generera mer koldioxidutsläpp då felavhjälpning kan krävas i större utsträckning, kosta mer i underhållskostnader och minskar tillgängligheten då framkomligheten för tågen begränsas. Därmed skulle syftet med Ostlänken försvinna. Skulle Ostlänken istället byggas som fixerat spår, hade det varit viktigt att undersöka miljövänliga alternativ av material. Det hade också varit essentiellt att utreda vilken typ av fixerat spår som är bäst ur ett hållbart perspektiv. Vissa fixerade spår byggs exempelvis i prefabricerade delar vilket ökar möjligheten att reparera och förnya mindre delar av banöverbyggnaden, jämfört med helgjutet spår. Det här kan vara tänkvärt för vidare utredning av den nya stambanan, där vissa delar planeras att byggas som fixerat spår. Även om järnvägen endast står för en liten del av fordonssektorns totala koldioxidutsläpp, är det alltså viktigt att fortsätta att utveckla branschen.

I modellen som utformades i det här arbete, jämfördes tre faktorer som icke-monetära i ett spindeldiagram. Det var viktigt att översätta de olika faktorerna till samma enhet, för att ge en mer rättvis bild av deras utfall i relation till varandra. Då modellen kan evaluera tre faktorer eller fler, gav det en mer heltäckande bild över två typer av banöverbyggnader. En fördel visade sig vara att det lättare kan göras en helhetsbedömning för olika alternativ. Det kan vara ett särskilt viktigt verktyg i anskaffningsprojekt för infrastrukturprojekt, eftersom det är många olika parametrar som ska vägas in. Modellen är endast ett förslag och passar för den undersökta sträckan. Ska däremot andra sträckor evalueras blir det nödvändigt att använda siffror för den aktuella banan.

Det finns goda förutsättningar för Systecon att utveckla deras utvärderingsmodeller till att inkludera klimatpåverkansfaktorer genom multikriterieanalys. Några utmaningar att ta hänsyn till vid införande av klimatpåverkan är dels att hitta bra data samt att utforma utvärderingsstrategi av klimatpåverkan så att det speglar verkligheten så bra som möjligt. Det kommer också att vara viktigt att en ny parameter kan värderas poängmässigt eller monetärt för att en jämförelse mot kostnad och tillgänglighet ska bli så rättvisande som möjligt.

Referenser

Tryckta källor

- Alstrom. 2018. Mainline track Concrete track NBT, Environmental product declaration. EPD registration number: S-P-01374
- Alvesson, Mats., 2011. Intervjuer - genomförande, tolkning och reflexivitet. Liber AB, Malmö.
- Andersson, Evert., Berg, Mats., & Stichel, Sebastian., 2016. Nya stambanor till lägre kostnader. KTH Railway Group. ISBN 987-91-7729-039-1
- Banverket Investeringsdivisionen Projektdistrikt Mitt. u.å. Järnvägsutredning Ostlänken Norrköping C — Linköping C Miljökonsekvensbeskrivning.
- Bressi, Sara., D'Angelo, Giacomo., Santos, Joao., & Giunta, Marinella., 2018. Environmental performance analysis of bitumen stabilized ballast for railway track-bed using life-cycle assessment. Construction and Building Materials 188 (2018) 1050–1064
- Carlsson, Raul., & Pålsson, Ann-Christin., 2011. Livcykelanalys, Ringar på Vattnet. Intellecta Infolog, Göteborg.
- Dodgson, J., Spackman, M., Pearman, A. & Phillips, L., 2009. Multi-criteria analysis: a manual. 11 red. London: Department for communities and Local Government.
- Edvardsson, Karin., & Hedström, Ragnar., 2015. Bankonstruktionens egenskaper och deras påverkansgrad på nedbrytningen av spårfunktionen. VTI rapport 864
- Esveld, Coenraad., 2001. Modern railway track, second edition. Delft University of Technology. ISBN 90-800324-3-3
- Fourie, C.J., & Tendayi, T.G., 2016. A Decision-making Framework for Effective Maintenance Management Using Life Cycle Costing (LCC) in a Rolling Stock Environment. South African Journal of Industrial Engineering december Vol 27(4), pp 142-152
- Giunta, Marinella., Bressi, Sara., & D'Angelo, Giacomo., 2018. Life cycle cost assessment of bitumen stabilised ballast: A novel maintenance strategy for railway track-bed. Construction and Building Materials 172 (2018) 751–759
- Giunta, Marinella., & Praticò, Filippo., 2017. Design and maintenance of high-speed rail tracks: a comparison between ballasted and ballast-less solutions based on Life Cycle Cost Analysis. University Mediterranea, Reggio Calabria, Italy, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-03009-1
- Hallberg, Anders., Larsson, Daniel., Norlin, Lars., Åkerhammar, Peter., & Westrin, Pontus., 2019. Mineralmarknaden 2018. Tema: Järn och stål. Periodiska publikationer 2019:1. SGU Sveriges geologiska undersökning.

- Hammar, Anders., 2015. Spårkomponenter Sliper och besfästning. TDOK 2015:0052. UHtsv, Trafikverket.
- Hansson, D.; Mattsson, B.; Schroeder, H. (1995). Vegetationsbekämpning på Banvallar - En förstudie om förebyggande åtgärder samt icke-kemiska metoder. Rapport 191, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för lantbruksteknik.
- Hulthén, Erik., & Asbjörnsson, Gauti., 2019. LCA - Verktyg för Ballastindustrin. Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- ISO. 2017. Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 5: Life-cycle costing.
- Jensen, Tommy., & Sandström, Johan., 2016. Fallstudier. Studentlitteratur AB, Lund, GraphyCems Spain.
- JFE Steel Corporation., u å, Rail. Cat.No.D1E-001-02. Chiyodaku, Japan.
- Johansson, Lars-Göran., 2018. Introduktion till Vetenskapsteorin. Fjärde upplagan. Thales, Stockholm.
- Krezo, Steven., Mirza, Olivia., Kaewunruen, Sakdirat., & Sussman, J.M., 2018. Evaluation of CO2 emissions from railway resurfacing maintenance activities. Transportation Research Part D 65 (2018) 458–465
- Krezo, Steven., Mirza, Olivia., He, Yaping., Makim, Polly., & Kaewunruen, Sakdirat., 2016. Field investigation and parametric study of greenhouse gas emissions from railway plain-line renewals. Transportation Research Part D 42 (2016) 77–90.
- Kloepffer, Walter., 2008. Life Cycle Sustainability Assessment of Products (with Comments by Helias A. Udo de Haes, p. 95). Int J LCA 13 (2) 89–95. Springer-Verlag. Frankfurt.
- Malmberg, Filip., 2016. Cost-Efficiency In Regional Commuter Train Traffic. On how Regional Transport Authorities can increase cost-efficiency in commuter train traffic. Department of industrial management and logistics. Lunds universitet.
- Parry, Tony., Kiani, M., & Ceney, H., 2008. Environmental life-cycle assessment of railway track beds. DOI: 10.1680/ensu.2008.161.2.135
- Pedersen, Kristian. 2019. Upphandlingsgrunder, en introduktion till offentlig upphandling och upphandling i försörjningssektorerna. 5e uppl. Stockholm: Jure Förlag AB.
- RailOne. 2011. Rheda 2000® ballastless track system. Neumarkt, Tyskland.
- Sandin, Pär., & Persson, Klas. 1988. LCC för kraftverksprojektering. En modell för livstidskostnadsanalys på nya kraftverksanläggningar hos Sydkraft. Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering. Linköping.

- SFS 2016:1145. Lag om offentlig upphandling.
- Skanska Industrial Solutions AB. 2016. Environmental Product Declaration - Bergkrossprodukter. NEPD-1257-403-SE Bergkrossprodukter, Skanska.
- Stripple, Håkan., och Uppenberg, Stefan., 2010. Life cycle assessment of railways for application in environmental product declarations. IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd. IVL Report B1943
- Strängbetong Rail AB. 2017. Environmental Product Declaration for Railway sleepers SB35F and SBR25ML. Utförd av WSP Sweden AB. SS-EN ISO 14025:2010
- Svensk betong. 2017. Betong och klimat. En rapport om arbetet för klimatneutral betong.
- Trafikverket. 2018a. Höghastighetsbanor. Effekter av hastighet 250 km/h jämfört med 320 km/h. Publikationsnummer: 2018:060
- Trafikverket. 2020. LCC–analys för val av spårkonstruktion i tunnlar.
- Trafikverket. 2019b. Miljökonsekvensbeskrivning för samråd. Ostlänken - Järnvägsplan delen Gerstabergr – Långsjön. Södertälje kommun. Ärendenummer: TRV 2014/72080
- Trafikverket. 2017a. Nya stambanor i plan 2018–2029 – Utbyggnadsstrategi för höghastighetsjärnvägar. Underlagsrapport till Nationell plan för transportsystemet 2018–2029. ISBN: 978-91-7725-161-3
- Trafikverket. 2018b. Samhällsekonomisk kalkyl av höghastighetsjärnväg 250 km/h. TRV 2014/54842
- Trafikverket. 2013. Underhålls- och reinvesteringsbehov 2013–2022 Banöverbyggnad. Behovsutredning underhåll och reinvestering järnväg. Diarienummer: TRV 2013/1803
- Trost, Jan., 2010. Kvalitativa intervjuer. Studentlitteratur AB, Lund.
- Tzanakakis, Konstantinos., 2013. The Railway Track and Its Long Term Behaviour. A Handbook for Railway Track and High Quality. Springer–Verlag Berlin Heidelberg.
- World Steel Association. 2018. Life Cycle Inventory Study. 2018 data release. 5th global World Steel Association (worldsteel) Life Cycle Inventory (LCI) Study.
- UNEP/ SETAC Life Cycle Initiative., 2009. Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products. Social and socio-economic LCA guidelines complementing environmental LCA and Life Cycle Costing, contributing to the full assessment of goods and services within the context of sustainable development. ISBN: 978-92-807-3021-0. Belgien.
- Upphandlingsmyndigheten och Konkurrensverket. 2018. Statistik om offentlig upphandling 2018. Upphandlingsmyndigheten rapport 2018:2, Konkurrensverket rapport 2018:9. Leanders Grafiska AB, Kalmar.
- Weidema, B., Wenzel, H., Petersen, C. & Hansen, K., 2004. The product, functional unit and reference flows in LCA. Miljøstyrelsen, København, Environmental News 70.

ÅF/Tyréns. Miljökonsekvensbeskrivning för samråd. Ostlänken - Järnvägsplan delen Gerstaberg - Långsjön. På uppdrag av Trafikverket. Ärendenummer: TRV 2014/72080.

Internetkällor

Cementa. u.å. *Cementproduktion steg-för-steg*.
<https://www.cementa.se/sv/cementproduktion-steg-f%C3%B6r-steg>
(Hämtad 2020-04-02)

Consequential-LCA. 2017. *The functional unit*.
www.consequential-lca.org
(Hämtad 2019-01-16)

The International EPD® System. *EPD® Miljövarudeklarationer*. Stockholm.
<https://www.environdec.com/contentassets/4b9089c8351649608e026cfb899ef04a/introducing-epd-2017-swedish-web.pdf>
(Hämtad 2019-12-03)

Järnväg.net. u.å. *Spår och Spårets delar*.
<http://www.jarnvag.net/banguide/spar>
(Hämtad 2020-02-05)

Klimatpolitiska rådet. *Det klimatpolitiska ramverket*.
<https://www.klimatpolitiskaradet.se/det-klimatpolitiska-ramverket/>
(Hämtad 2019-12-10)

Miljödepartementet. 2017. *Det klimatpolitiska ramverket*.
<https://www.regeringen.se/artiklar/2017/06/det-klimatpolitiska-ramverket/>
(Hämtad 2019-12-10)

Miljö och utveckling. 2006. *Din guide till ISO 140000-serien*.
<https://miljo-utveckling.se/din-guide-till-iso-14000-serien/>
(Hämtad 2019-12-18)

Monmouth, Rubber and plastics corp. u.å. *Neoprene explained, what is it?*
<https://monmouthrubber.com/neoprene-explained/>
(Hämtad 2020-04-02)

Naturvårdsverket. 2019b. *Sveriges del av EU:s klimatmål*.
<https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Klimat/Sveriges-klimatattaganden/>
(Hämtad 2020-02-03)

Naturvårdsverket. 2019c. *Transporterna och miljön*.
<http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Transporter-och-trafik/>
(Hämtad 2019-12-02)

Naturskyddsföreningen. u.å. *De vanligaste plasterna och tillsatserna*.
<https://www.naturskyddsforeningen.se/info-om-plast>
(Hämtad 2020-04-02)

Ostlänken, Nyköping–Östgötalänken AB. u.å a. *Om Ostlänken*.
<http://www.ostlanken.se/om-ostl%C3%A4nken/om-ostl%C3%A4nken>
(Hämtad 2020-01-08)

Ostlänken, Nyköping–Östgötalänken AB. u.å b. *Tidplan*.
<http://www.ostlanken.se/om-ostl%C3%A4nken/om-ostl%C3%A4nken>
(Hämtad 2020-01-08)
Plast Bearbetning. u.å. *Polyamid - Nylon (PA)*.
<https://www.plastbearbetning.se/polyamid/>
(Hämtad 2020-04-02)

Polymer Properties Database. u.å. *CR-Polychloroprene (Neoprene)*.
<https://polymerdatabase.com/Elastomers/Chloroprene.html>
(Hämtad 2020-04-02)

Regeringskansliet. 2016. *Agenda 2030 för hållbar utveckling*.
<https://www.regeringen.se/regeringens-politik/globala-malen-och-agenda-2030/agenda-2030-for-hallbar-utveckling/>
(Hämtad 2020-02-03)

SIS Svenska Institutet för Standarder. u.å a. *Internationell Standardisering*.
<https://www.sis.se/standardutveckling/internationell-standardisering/>
(Hämtad 2020-03-23)

SIS Sveriges Institution för Standarder. u. å b. *Vad är en standard?*
<https://www.sis.se/standards/vad-ar-en-standard/>
(Hämtad 2020-03-23)

SLU. 2016. *Abiotiska resurser*.
<https://www.slu.se/institutioner/energi-teknik/forskning/lca/vadar/abiotiska-resurser/>
(Hämtad 2020-02-04)

Systecon. u.å a. *Behovet av välinformerade beslut är lika viktigt, oavsett bransch*.
<https://www.systecongroup.com/se/vara-kunder/branscher>
(Hämtad 2019-12-09)

Systecon. u.å b. *Life Cycle Cost och Total Cost of Ownership - LCC/TCO*.
<https://www.systecongroup.com/se/om-systecon>
(Hämtad 2020-01-10)
Systecon. u.å c. *Om Systecon*.
<https://www.systecongroup.com/se/om-systecon>
(Hämtad 2019-12-09)

Trafikanalys. 2019. *Järnvägstransporter*.
<https://www.transportfakta.se/transportslag#personresor-tag>
(Hämtad 2019-12-09)

Trafikverket *Klimatkalkyl*, 2019a.

(hämtad 2020-02-24)

<http://webapp.trafikverket.se/Klimatkalkyl/Modell>

Trafikverket. 2019a. *Klimatkrav*.

<https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/energi-och-klimat/klimatkrav/>

(Hämtad 2019-12-13)

Trafikverket. 2017b. *Trafikverkets uppdrag*.

<https://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/trafikverkets-uppdrag/>

(Hämtad 2019-12-11)

Trafikverket. 2018d. *Vision, verksamhetsidé och värderingar*.

<https://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/visionuppdrag-och-varderingar/>

(Hämtad 2019-12-12)

Trafikverket. 2019c. *Om Ostlänken*.

<https://www.trafikverket.se/nara-dig/projekt-i-flera-lan/Ostlanken/Om-projektet-Ostlanken/> (Hämtad 2020-01-08)

Upphandlingsmyndigheten. 2019. *Strategiskt inköpsarbete för minskad klimatpåverkan*.

<https://www.upphandlingsmyndigheten.se/hallbarhet/energi-och-klimat/strategiskt-inkopsarbete-for-minskad-klimatpaverkan/>

(Hämtad 2019-12-03)

Intervjuer

Backlund, Filippa., Tyréns.

Intervju 2020-04-16

Bång, Roland., Infranord AB.

Intervju 2020-05-15

Harryson, Poul., Tyréns.

Mailkontakt 2020-04/-05

Heller, Patricia., Tyréns.

Intervju 2020-04-17

Kirilmaz, Elias. Systecon.

Intervju 2020-06-05

Malmberg, Filip. Systecon.

Intervju a. 2019-12-11

Intervju b. 2020-05-12

Persson, Klas. Forsmarks Kraftgrupp, Vattenfall.

Intervju 2020-05-16

Rauma, Matias. Systecon.
Intervju 2020-01-27

Sandin, Pär. Systecon.
Intervju a. 2019-12-11
Intervju b. 2020-05-12

Ström, Martin. Tyréns.
Intervju 2020-04-16

Wennerstål, Rebecka. Systecon.
Intervju 2020-01-27

Bildkällor

Asbjörnsson, Gauti., & Hulthén, Erik., 2015. *Slutrapport för Utveckling av simuleringsförmåga och avancerade processmodeller för bergmaterial-, malm- och mineralproduktion, LCA-moduler*. VINNOVA projekt: 2015–02521 SBUF forskningsprojekt nummer: 13158. Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

Balfour Beatty Rail. u.å. *Embedded Rail System*. Derby, England.

Cementa. u.å. *Cementproduktion steg-för-steg*.
<https://www.cementa.se/sv/cementproduktion-steg-f%C3%B6r-steg>
(Hämtad 2020-03-05)

Hallberg, Anders., Larsson, Daniel., Norlin, Lars., Åkerhammar, Peter., & Westrin, Pontus., 2019. *Mineralmarknaden 2018. Tema: Järn och stål*. Periodiska publikationer 2019:1. SGU Sveriges geologiska undersökning.

Ostlänken, Nyköping-Östgötalänken AB.
<http://www.ostlanken.se>
(Hämtad 2019-10-31)

RailOne. 2011. *Rheda 2000® ballastless track system*. Neumarkt, Tyskland.

SGU, Sveriges geologiska undersökning., 2019. *Mineralmarknaden 2018, Tema: Järn och stål*. ISSN 0283-2038, Periodiska publikationer 2019:1.

Strängbetong Rail AB. 2017. *Environmental Product Declaration for Railway sleepers SB35F and SBR25ML*. Utförd av WSP Sweden AB. SS-EN ISO 14025:2010

Tarmac-Maxboegl. 2015. *Delivering Innovation. Slab track solutions for the UK high speed rail*. Neumarkt, Germany.

Tzanakakis, Konstantinos., 2013. *The Railway Track and Its Long Term Behaviour. A Handbook for Railway Track and High Quality*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Trafikverket 2019b. *Om Ostlänken*.

[https://www.trafikverket.se/nara-dig/projekt-i-flera-lan/Ostlanken/Om-projektet-Ostlanken-
/](https://www.trafikverket.se/nara-dig/projekt-i-flera-lan/Ostlanken/Om-projektet-Ostlanken-/) (Hämtad 2020-01-08)

Trafikverket, 2019a. *Teknisk systemstandard för En ny generation järnväg, version 4.1 revision A, Ballasterat spår för hastigheter upp till och med 250 km/h, Ballastfritt spår för hastigheter upp till och med 320 km/h*. Diarienummer: TRV 2019/40102[1]

Weidema, B., Wenzel, H., Petersen, C. & Hansen, K., 2004. *The product, functional unit and reference flows in LCA*. Miljøstyrelsen, København, Environmental News 70.

Appendix A – Intervjufrågor

Exempel på frågor som använts i de genomförda intervjuerna.

Allmänt

Jag gör en LCA och ska jämföra alternativen ballast- vs fixerad banöverbyggnad.

Ska göra en utvärdering mot LCC för att få fram den bästa lösningen.

- I ballasterat spår inkluderar jag:
 - Ballast (makadam)
 - Slipers av betong, SBR25ML med armering av stål
 - Stålblock för fästning i ballasten
 - Pandrol Fastclip (e-clips) i stål
 - Mellanläggsplatta i gummi (Neopren)
 - Nylonisolator (Nylon 66, Polyamid)
 - Räl UIC 60
- Något jag borde lägga till?
- För fixerat spår inkluderar jag:
 - Betong
 - Betong, klass 2
 - Räler UIC 60
 - Stål, armering
 - Neopren elastomer (mellanlägg i gummi)
 - Polyamid (nylonisolator)
- Något jag borde lägga till?
- Berätta om ditt arbete, vad ingår i det?
- Har förstått det som att det kommer att byggas dubbelspår för Ostlänken? Hela vägen?
- Hur kom man fram till att Ostlänken ska byggas i ballast?
- Hur lång livstid en järnvägssträcka är intressant att kolla på? (100 år? 120 år?)
 - HB:s livstid (Ostlänken)?
 - Fixerat har i regel längre livstid, något man har tagit hänsyn till vid planering?
- Har förstått det som att man planerar att ha en hastighet på 270 km/h med kapacitet för 320 km / h.
 - Gäller detta för Ostlänken också?
 - Fungerar det om man bygger med ballast eller begränsas hastigheten då?
- Jag har kollat i rapporter från Trafikverket där det står att ballastspår skulle bli billigare än ballastfritt.
 - Förstår det som att det är den initiala kostnaden. Har man kollat över hela livscykeln (LCC)?
 - Hur kommer det sig att siffrorna är så osäkra (50 % sannolikhet är väldigt låg?)
 - Väger man in en ev LCA, framtida kostnader för CO2-utsläpp?
 - Vad tror du skulle hända om man kollar på LCA som en del av det ekonomiska?

Klimatpåverkan

- Vad ingår i ert miljöarbete?
- Har man gjort en jämförelse i LCA på ballast vs ballastfritt?
- Vet du/ni om man har gjort LCA för att jämföra ballast och fixerat för Ostlänken? Höghastighetsbanan?
- Finns studier som indikerar att fixerat kan vara mer klimatsmart i ett längre perspektiv. Hur har ni resonerat?
- Det finns alternativ att köra mobil kross direkt vid byggplatsen, kommer att ske vid Ostlänken?
- Kommer Ostlänken att bli "självförsörjande" av makadam från alla planerade tunnlar eller kommer det att behöva importeras?
 - Eller är det frakt som gäller?
 - Ungefär hur långt brukar man frakta då? För mobila krossar och krossanläggning?
- Räknar man med lagring av makadam på plats eller används det direkt?
- Hur många armeringstrådar är det i en betongsliper?
- Var kommer betongsliparna att produceras?
 - Hur långa avstånd är det från produktion till byggarbetsplats?
- Har man speciella transportfordon att frakta sliparna i?
- Var kommer rälerna att produceras?
 - Hur långa avstånd är det från produktion till byggarbetsplats?
- Har man speciella transportfordon att frakta rälerna i (stålbil eller tåg)?
- På Trafikverkets Klimatkalkyl för fixerat spår räknas det med betong 2020 ton och betong, klass 2 (2150 ton).
 - Vad skiljer dessa åt?
 - Är det samma typ av betong i som fixerad banöverbyggnad?
- Var kommer betongen att produceras?
 - Hur långa avstånd är det från produktion till byggarbetsplats?
- Har man speciella transportfordon att frakta betongen i?
- Hur går konstruktionen av ballastbanöverbyggnad fixerad banöverbyggnad till?
 - Sker hela spårläggningen samtidigt?
 - Vilka maskiner används?
 - Hur många gånger måste man åka fram och tillbaka för ballasterat spår för att få den form som man vill ha för konstruktionen?
- Det finns många olika typer av fixerat spår, i Klimatkalkyl framgår det inte vilken typ som man räknar på.
 - Har du någon aning om vilken typ som är aktuell för vissa partier av HB?
 - Vilken är mest relevant att jämföra ballastbanöverbyggnad med?
- Hur går underhåll av ballastbanöverbyggnad till? Är det samma procedur som vid konstruktion?
 - Vad gör man vid mindre underhåll (förebyggande?) för de två spårtyperna?
 - Hur ofta under en period på 60 år? (Alt. livstid på 50 år)
 - Vad gör man vid större underhåll för de två spårtyperna??

- Hur ofta under en period på 60 år? (Alt. livstid på 50 år)
- Sker hela underhållet samtidigt för alla delar eller någon del i taget?
- Vilka maskiner används och hur mycket diesel förbränns?
- Säg att en räl är dåligt på ett ställe, då byter man ut bara en del av rälen och termitsvetsar ihop, hur ofta sker det?

Ekonomi

- Vad har inkluderats i LCCn för Ostlänken?
- Vad var det mest avgörande att Ostlänken ska byggas i ballast?
- Vad tror du skulle hända om man kollar på LCA som en del av det ekonomiska?
 - Är det intressant?
- Hur har ni räknat med transport av olika komponenter och kostnader för bränsleåtgång?
- Hur lång livstid en järnvägssträcka är intressant att kolla på? (60 år? 100 år? 120 år?)
Vad har ni räknat på?
- Två begrepp som jag behöver hjälp att förstå
 - Nominell kostnad?
 - Annuitet?
 - Diskontering?
- Enligt en artikel av Parry et al (2008), kommer de fram till att det inte behöver vara billigare med ballast, hur har ni resonerat?

Tillgänglighet

- Vad jobbar Sysstecon med i Ostlänken? (Behovsanalys)
- Hur räknar Sysstecon på tillgänglighet?
- I projektet ni samarbetar med TRV i, angående banöverbyggnader i tunnlar, hur har ni resonerat kring tillgänglighet?
 - Går uträkningarna att applicera på banöverbyggnader utanför tunnlar också?

Appendix B – LCA

Koldioxidvärden

I de fyra tabellerna nedan listas arbetsmaskiner och material för ballasterat och fixerat spår, deras utsläpp av koldioxidekvivalenter och hur ofta de används under en period på 120 år. I den första redovisas värdena för ballasterat spår, därefter kommer fixerat spår med en livstid på 120 år, fixerat spår med en livstid på 60 år där hälften av materialet byts ut och slutligen fixerat spår med en livstid på 60 år och där allt material byts ut (Bressi et al., 2018), (Krezo et al., 2018), (Parry, Kiani och Ceney, 2008), (Skanska Industrial Solutions AB), (Stripple och Uppenberg, 2010), (Trafikverket, Klimatkalkyl), (ÅF/Tyréns, 2019).

Moment	Värde [CO ₂ e per km]	Intervall [år]
Spårslip	338,7	3
Termitsvetsning	96,2	15
Spårlägg räls	1 065,6	Endast vid byggnation
Spårläggning sliprar	403,2	Endast vid byggnation
Lastbil	7 208,3	30
Grävmaskin	3 642,4	30
Ballastspredare	916,4	40
Spårriktare	894,9	5
Ballaststabilisator	542,8	5
Ballastplog	979,2	5
Ballastpress	2 711,4	30
Ballastrenare	1 468,8	30
Spårbytesmaskin	18 837,5	30
Avfallsmaskin (hopper)	7 208,3	5
Ogräsbekämpning	542,8	1
Märrtåg	916,4	0,2
Nytt ballastmaterial	102 954,5	30 % vart 40e år
Nytt slipermaterial	204 903,1	40
Nytt rälsmaterial	451 800,0	20

Moment	Värde [CO₂e per km]	Intervall [år]
Spårslip	338,7	4
Termit	33,4	10
Spårlägg räls	1 065,6	30
Ny polyamid och neopren	1 093,9	30
Ny betong och armeringsstål	1 310 080,0	120
Nytt rälsmaterial	451 800,0	30
Gjut av betong	2 131,2	120
Avfallsmaskin	7 208,3	30
Maskinell undersökning	916,4	0
Lastbil	7 208,3	30
Grävmaskin	3 642,6	30
Betongtåg	144 166,8	120

Moment	Värde [CO₂e per km]	Intervall [år]
Spårslip	338,7	4
Termit	33,4	10
Spårlägg räls	1 065,6	30
Ny polyamid och neopren	1 093,9	30
Ny betong och armeringsstål	655 040,0	60
Nytt rälsmaterial	451 800,0	30
Gjut av betong	2 131,2	60
Avfallsmaskin	7 208,3	30
Maskinell undersökning	916,4	0
Lastbil	7 208,3	30
Grävmaskin	3 642,6	30
Betongtåg	144 166,8	60

Moment	Värde [CO₂ e per km]	Intervall [år]
Spårslip	338,7	4
Termit	33,4	10
Spårlägg räls	1 065,6	30
Ny polyamid och neopren	1 093,9	30
Ny betong och armeringsstål	1 310 080,0	60
Nytt rälsmaterial	451 800,0	30
Gjut av betong	2 131,2	120
Avfallsmaskin	7 208,3	30
Maskinell undersökning	916,4	0
Lastbil	7 208,3	30
Grävmaskin	3 642,6	30
Betongtåg	144 166,8	60

Beräkningar

Materialutvinning (A1–A3)

Ballast										Uträkningar				
	Makadam (ballast)													
Riktning	Kategori	Namn	Mängd	Enhet	Mängd	Enhet	Mängd	Enhet	Kommentar	Källa	Moment	Produkt	Enhet	
Inflöde	A1	Ballast (makadam)	1 430	kg/m3	3 400	m3	4862000	kg		Trafikverket, Klimatkalkyl				
Inflöde	A1	Springberg	1 650	kg/m3	2 946,67	m3				Skanska kross, EPD				
Inflöde	A1	Fast berg	2 750	kg/m3	1 768	m3				Skanska kross, EPD	Arbening	0,53568	kg CO2e	
Inflöde	A1	Arbening	0,186	l/m3			2,88	kg CO2e/l MKI	Sker med grävmaskin, antar en yta av 90 m3 då det är tunnelse area.	Skanska kross, EPD	Borr	115,2	kg CO2e	
Inflöde	A1	Borrning (maskin)	1	l/m	40	m		2,88	kg CO2e/l MKI	Skanska kross, EPD	Springning	8840	kg CO2e	
Inflöde	A1	Längd i tunnel	47,24223875	m2	40	m				Uträkning från EPD Botnia för tunlar				
Inflöde	A1	Springning	2	kg/m3	2,5	kg CO2e/kg				Trafikverket, Klimatkalkyl, Tytne 2019				
		Skutnackning	1,99			kg CO2e/kg								
Inflöde	A2	Lastbil (lastning av springblock)	10	km	1,91	kg CO2e/m3			Trafikverket Klimatkalkyl räknar med att en lastbil kommer att köra 10 km vid krossning. A3. Lägger till lastbil för aktiviteterna i A1	Trafikverket, Klimatkalkyl	Lastbil (Bjuggloader)	5628,13333	kg CO2e	
Inflöde	A2	Lastbil (lastning av krossprodukter)	10	km	1,91	kg CO2e/m3				Trafikverket, Klimatkalkyl	Lastbil	64940	kg CO2e	
Inflöde	A2	Grävmaskin	0,186	l/m3	2,88	kg CO2e/l MKI			Vid lastningar av lastbilarna	Trafikverket, Klimatkalkyl	Grävmaskin	1821,312	kg CO2e	
Inflöde	A3	Mobilkross	5,82	kg CO2e/m3					2krossing till storlek 32-64 mm, inklusive separation	Trafikverket, Klimatkalkyl	Krossning	19788	kg CO2e	
		Sliper, SBR25ML										Tot (Ballast) A1-A3	101133,181	kg CO2e
Riktning	Kategori	Namn	Mängd	Enhet	Mängd	Enhet	Mängd	Enhet	Kommentar	Källa				
Inflöde	A1 - A3	Sliper	3333,33	st						Trafikverket, Klimatkalkyl				
Inflöde	A1 - A3	Betong	250	kg/diiper	0,16	kg CO2e/kg				IVL Miljödata, 2010, Trafikverket Klimatkalkyl	Betong	40	kg CO2e	
Inflöde	A1 - A3	Armering, stål (inkl befästning och e-clips)	13,7	kg/diiper	1,43	kg CO2e/kg				IVL Miljödata, 2010, Trafikverket Klimatkalkyl	Armering, stål (inkl befästningar)	19,591	kg CO2e	
Inflöde	A1 - A3	Neopen	0,277	kg/diiper	0,61	kg CO2e/kg				IVL Miljödata, 2010, Trafikverket Klimatkalkyl	Neopen	0,16897	kg CO2e	
Inflöde	A1 - A3	(Mellanläggplatta i gummi)									(Mellanläggplatta i gummi)			
Inflöde	A1 - A3	Polyamid / Nylonisolator (befästningsplatta med räl och e-clips)	0,184	kg/diiper	9,3	kg CO2e/kg				IVL Miljödata, 2010, Trafikverket Klimatkalkyl	Polyamid / Nylonisolator (befästningsplatta med räl och e-clips)	1,7112	kg CO2e	
												Tot (Sliper) A1-A3	204903,6951	kg CO2e
Riktning	Kategori	Namn	Mängd	Enhet	Mängd	Enhet	Mängd	Enhet	Kommentar	Källa				
Inflöde	A1-A3	Räls (stål varmförzinkat)	2	km	225 900	kg CO2e/km		2,88	kg CO2e/l MKI	Trafikverket, Klimatkalkyl		Tot (Räl) A1-A3	451800	kg CO2e
												TOT BALLASTSPÅR A1-A3	757836,8761	kg CO2e

Fixerat										Uträkningar				
Riktning	Kategori	Namn	Mängd	Enhet	Mängd	Enhet	Mängd	Enhet	Kommentar	Källa	Moment	Produkt	Enhet	
Inflöde	A1-A3	Betong, bandstyvt byggad	4 040 000	kg	0,16	kg CO2/kg				Trafikverket, Klimatkalkyl	Betong	646400	kg CO2e	
Inflöde	A1-A3	Betong, cement	4 300 000	kg	0,1256	kg CO2/kg				Trafikverket, Klimatkalkyl	Betong, cement	540080	kg CO2e	
Inflöde	A1-A3	Stål, armering	120 000	kg	1,03	kg CO2/kg				Trafikverket, Klimatkalkyl	Stål, armering	123600	kg CO2e	
Inflöde	A1-A3	Neopen elastomer	860	kg	0,61	kg CO2/kg				Trafikverket, Klimatkalkyl	Neopen elastomer	525	kg CO2e	
Inflöde	A1-A3	Polyamid	560	kg	9,3	kg CO2/kg				Trafikverket, Klimatkalkyl	Polyamid	5 208	kg CO2e	
		Räl, UTC 60				kg/m						Tot (Material) A1-A3	1315812,6	kg CO2e
Inflöde	A1-A3	Räls (stål varmförzinkat)	2	km	120 800	kg/km	1,87	kg CO2 / kg		Trafikverket, Klimatkalkyl		Tot (Räl) A1-A3	451792	kg CO2e
												TOT FIXERAT A1-A3	1767604,6	kg CO2e

Byggprocess (A5)

Ballast									Uträkningar						
Riktning	Kategori	Moment	Mängd	Enhet	Mängd	Enhet	Mängd	Enhet	Kommentar	Källa	Moment	Produkt	Enhet		
Kärna	A5	Lastbil (lassar ut makadam)	10	km	1,91	kg CO2/m3	2,88	kg CO2/ MK1	Sprider ut första lagret av makadam	Trafikverket, Klimatalkyl		Lastbil	64940	kg CO2e	
Kärna	A5	Grävmaskin	0,186	l/m3			2,88	kg CO2/ MK1	Plattar till och lassar ut makadam	Kiani et al. 2008, Bressi et al. 2018, Trafikverket Klimatalkyl		Grävmaskin	1821,312	kg CO2e	
Kärna	A5	Spårläggning - sliper	14	h/km	5	1 MK1/h	2,88	kg CO2/ MK1				Spårläggning - sliper	403,2	kg CO2e	
Kärna	A5	Spårläggning - räls	37	h/km	5	1 MK1/h	2,88	kg CO2/ MK1		Kiani et al. 2008, Bressi et al. 2018, Trafikverket Klimatalkyl		Spårläggning - räls	1065,6	kg CO2e	
Kärna	A5	Spårlägg (stål)	1,47	kg/km	1,87	kg CO2/kg	2,88	kg CO2/ MK1		Trafikverket, Klimatalkyl		Termitsvetsning	96151104	kg CO2e	
Kärna	A5	Spårlägg (aluminium)	1,66	kg/km	8,4	kg CO2/kg	2,88	kg CO2/ MK1		Trafikverket, Klimatalkyl		Termitsvetsning		kg CO2e	
Kärna	A5	Spårlspining	4 200	MJ/km	0,028	l/MJ	2,88	kg CO2/ MK1		Trafikverket, Klimatalkyl		Spårlspining	677,376	kg CO2e	
Kärna	A5	Ballastspridare	159,09	l/km			2,88	kg CO2/ MK1		Kiani et al. 2008, Bressi et al. 2018, Trafikverket Klimatalkyl		Ballastspridare	916,3584	kg CO2e	
Kärna	A5	Ballastpress	32	h/km	15	l/h	2,88	kg CO2/ MK1	Antar att den kör fram och tillbaka en gång. Åker ofta flera gånger vid underhåll.	Kiani et al. 2008, Bressi et al. 2018, Trafikverket Klimatalkyl		Ballastpress	2764,8	kg CO2e	
Kärna	A5	Ballastregulator	153,639	l/km			2,88	kg CO2/ MK1		Krezo et al. 2018, Trafikverket Klimatalkyl		Spårlmatrare	885	kg CO2e	
Kärna	A5	Ballaststabilisator	94,236	l/km			2,88	kg CO2/ MK1		Krezo et al. 2018, Trafikverket Klimatalkyl		Ballaststabilisator	543	kg CO2e	
Kärna	A5	Spårplog	159,09	l/km			2,88	kg CO2/ MK1	Antar samma värde som för ballastspridare			Spårplog	916	kg CO2e	
Kärna	A5	Maskinell undersökning	159,09	l/km			2,88	kg CO2/ MK1	Antar samma värde som för ballastspridare			Maskinell undersökning	916	kg CO2e	
												TOT BALLASTSPÅR A4-A5	75945,2743	kg CO2e	

Fixerat															Uträkningar		
Riktning	Kategori	Namn	Mängd	Enhet	Mängd	Enhet	Mängd	Enhet	Kommentar	Källa	Moment	Produkt	Enhet				
Kärna	A5	Placera och rika armeringen	0,196	l/m3			2,88	kg CO2/ MK1	Antar samma värde som en grävmaskin	Trafikverket, Klimatalkyl		Grävmaskin	1821,312	kg CO2e			
Kärna	A5	Spårläggning - rils	37	h/km	5	1 MK1/h	2,88	kg CO2/ MK1		Kiani et al. 2008, Bressi et al. 2018	1065,6	Spårläggning		kg CO2e			
Kärna	A5	Spårlägg (stål)	1,47	kg/km	1,87	kg CO2/kg	2,88	kg CO2/ MK1		Trafikverket, Klimatalkyl		Termitsvetsning	96,151104	kg CO2e			
Kärna	A5	Spårlägg (aluminium)	1,66	kg/km	8,4	kg CO2/kg	2,88	kg CO2/ MK1		Trafikverket, Klimatalkyl							
Kärna	A5	Spårlspining	4 200	MJ/km	0,028	l/MJ	2,88	kg CO2/ MK1				Spårlspining	677,376	kg CO2e			
Kärna	A5	Maskinell undersökning	159,09	l/km			2,88	kg CO2/ MK1	Antar samma värde som för ballastspridare			Maskinell undersökning	916	kg CO2e			
Kärna	A5	Betongtåg	37	h/km	5	1 MK1/h	2,88	kg CO2/ MK1	Tåg för betongutjämning	Kiani et al. 2008		Betongtåg	1065,6	kg CO2e			
													TOT FIXERAT A4-A5	4171,927	kg CO2e		

Underhåll och reparation (B2–B5)

Ballast																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
---------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fixerat															
Riktning	Kategori	Moment	Mängd	Enhet	Mängd	Enhet	Mängd	Enhet	Kommentar	Källa	Moment	Summa	Enhet		
Kärna	B2 - B5	Spårläggning - räls	37	h/km	5	1 MK1/h	2,88	kg CO2/1 MK1	Kiani et al. 2008, Bressi et al. 2018 Trafikverket, Klimatalkyl		Spårläggning - räls	532,8	kg CO2e		
Kärna	B2 - B5	Spårlägg (stål)	1,47	kg/km	1,87	kg CO2/kg	2,88	kg CO2/1 MK1				Terminsvetsning	96,151104	kg CO2e	
Kärna	B2 - B5	Spårlägg (aluminium)	1,66	kg/km	8,4	kg CO2/kg	2,88	kg CO2/1 MK1	Stripple, IVL - Botniabanan, 70		Spårlspining	338,688	kg CO2e		
Kärna	B2 - B5	Spårlspining	4200	MJ/km	0,028	l/MJ	2,88	kg CO2/1 MK1						kg CO2e	
Kärna	B2 - B5	Maskinell undersökning	159,09	l/km			2,88	kg CO2/1 MK1			Antar samma värde som för ballastspredare		Mätg	916,3584	kg CO2e
Kärna	B2 - B5	Gjutning av betong (concrete train)	37	h/km	5	1 MK1/h	2,88	kg CO2/1 MK1		Kiani et al. 2008	Gjutning av betong (concrete train)	1065,6	kg CO2e		
Kärna	B2 - B5	Avfallsmaskin ("hopper")	10	km	1 800	kg CO2/m3	2,88	kg CO2/1 MK1	Antar samma värde som för lastbil (Trafikverket Klimatalkyl)		Avfallsmaskin ("hopper")	103680	kg CO2e		
Kärna	B2 - B5	Nytt rälmateriel	2	km	225900	kg CO2/km			Trafikverket, Klimatalkyl		Nytt rälmateriel	451800	kg CO2e		
Kärna	B2 - B5	Betong, bandöverbyggnad	4 040 000	kg	0,16	kg CO2/kg			Trafikverket, Klimatalkyl		Betong	646400	kg CO2e		
Kärna	B2 - B5	Betong, sliprar	4 300 000	kg	0,1256	kg CO2/kg			Trafikverket, Klimatalkyl		Betong, cement	540080	kg CO2e		
Kärna	B2 - B5	Stål, armering	120 000	kg	1,03	kg CO2/kg			Trafikverket, Klimatalkyl		Stål, armering	123600	kg CO2e		
Kärna	B2 - B5	Neopren elastomer	860	kg	0,61	kg CO2/kg			Trafikverket, Klimatalkyl		Neopren elastomer	524,6	kg CO2e		
Kärna	B2 - B5	Polyamid	560	kg	9,3	kg CO2/kg			Trafikverket, Klimatalkyl		Polyamid	5208	kg CO2e		

Appendix C – LCC

För beräkningarna av nominell och reell kostnad användes en kalkylränta på 3,5% och 2020 års penningvärde. Värdena hämtades från Trafikverket (2020).

Ballasterat spår

Kostnadsåtgärd	Enhet [Kkr]	
Investeringskostnad	6 500,0	6 500,0
Underhåll	3 925,6	
Reinvestering	12 500,0	
Summa kostnad reall	22 925,6	6 500,0
Summa kostnad nominellt	73 655,7	6 500,0

Fixerat spår

Kostnadsåtgärd	Enhet [Kkr]	
Investeringskostnad	9 100,0	9 100,0
Underhåll	1 202,8	
Reinvestering	13 500,0	
Summa kostnad reall	23 802,8	9 100,0
Summa kostnad nominellt	108 466,2	9 100,0

Appendix D – Beräkningar av andelar till utvärderingsmodell

Fixerat spår med 0% förnyelse av betong och armeringsstål

Spårtyp	Mängd	Enhet
Ballasterat	6126,88	ton CO2e
Fixerat	4976,94	ton CO2e
Andel [fixerat/ballasterat]	0,81	

Fixerat spår med 50% förnyelse av betong och armeringsstål

Spårtyp	Mängd	Enhet
Ballasterat	6 126,88	ton CO2e
Fixerat	5 776,15	ton CO2e
Andel [fixerat/ballasterat]	0,94	

Fixerat spår med 100% förnyelse av betong och armeringsstål

Spårtyp	Mängd	Enhet
Ballasterat	6 126,87	ton CO2e
Fixerat	6 330,87	ton CO2e
Andel [fixerat/ballasterat]	1,03	

Andel kostnad

Spårtyp	Mängd	Enhet
Ballasterat	73 655,69	kkkr/km
Fixerat	108 466,17	kkkr/km
Andel [fixerat/ballasterat]	0,68	

Andel tillgänglighet

Spårtyp	Mängd	Enhet
Ballasterat	95,76	%
Fixerat	98,39	%
Andel [ballasterat/fixerat]	1,03	